
Integration von Innovationstechniken in ein wissensbasiertes System

vom Fachbereich Maschinenbau
der Universität der Bundeswehr Hamburg
zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktor-Ingenieurs genehmigte

DISSERTATION

von
Dipl.-Wi.-Ing. Matthias Reuter
aus Hagen

DISTRIBUTION STATEMENT A:
Approved for Public Release -
Distribution Unlimited

Hamburg 2000

REPORT DOCUMENTATION PAGE

Form Approved OMB No. 0704-0188

Public reporting burden for this collection of information is estimated to average 1 hour per response, including the time for reviewing instructions, searching existing data sources, gathering and maintaining the data needed, and completing and reviewing the collection of information. Send comments regarding this burden estimate or any other aspect of this collection of information, including suggestions for reducing this burden to Washington Headquarters Services, Directorate for Information Operations and Reports, 1215 Jefferson Davis Highway, Suite 1204, Arlington, VA 22202-4302, and to the Office of Management and Budget, Paperwork Reduction Project (0704-0188), Washington, DC 20503.

1. AGENCY USE ONLY (Leave blank)	2. REPORT DATE 2000	3. REPORT TYPE AND DATES COVERED Dissertation	
4. TITLE AND SUBTITLE Integration von Innovationstechniken in ein wissensbasiertes System Integration of Innovation into a Knowledge-based System		5. FUNDING NUMBERS	
6. AUTHOR(S) Matthias Reuter			
7. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) Fachbereich Maschinenbau, Universitaet der Bundeswehr Hamburg		8. PERFORMING ORGANIZATION Report Number REPORT NUMBER	
9. SPONSORING/MONITORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES)		10. SPONSORING/MONITORING AGENCY REPORT NUMBER	
11. SUPPLEMENTARY NOTES Text in German. Title and abstract in German and English, 111 pages.			
12a. DISTRIBUTION/AVAILABILITY STATEMENT Distribution A: Public Release.		12b. DISTRIBUTION CODE	
ABSTRACT (Maximum 200 words) The dissertation begins with the uses of innovation, how it can and should be generated and to what heights it might aspire. Then turning his attention to knowledge-based systems such as computer technology, the author reveals the current state of research in that field, including artificial intelligence and expert systems, and how creativity and contradiction orientation promote development. The middle section of the dissertation focuses on innovation as it helps re-mold expert systems and integral systems, respectively. Ensuing findings concern knowledge acquisition and the application environment, both of which are used as variables in the final chapter, which features an experimental model.			
14. SUBJECT TERMS German, UNIBW, Knowledge acquisition, Knowledge-based systems, Innovation and ingenuity, Artificial intelligence, Expert systems			15. NUMBER OF PAGES
			16. PRICE CODE
17. SECURITY CLASSIFICATION OF REPORT UNCLASSIFIED	18. SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE UNCLASSIFIED	19. SECURITY CLASSIFICATION OF ABSTRACT UNCLASSIFIED	20. LIMITATION OF ABSTRACT UNLIMITED

Integration von Innovationstechniken in ein wissensbasiertes System

vom Fachbereich Maschinenbau
der Universität der Bundeswehr Hamburg
zur Erlangung des akademischen Grades
eines Doktor-Ingenieurs genehmigte

DISSERTATION

von
Dipl.-Wi.-Ing. Matthias Reuter
aus Hagen

20021122 144

Hamburg 2000

AQ F03-02-0410

Widmung:

Diese Arbeit widme ich der Frau, die jetzt genau weiß, daß sie gemeint ist.

**Reproduced From
Best Available Copy**

**Copies Furnished to DTIC
Reproduced From
Bound Originals**

Hauptreferent: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rainer Bruns
Korreferent: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfram Funk

Tag der Einreichung: 18.11.1999

Tag der mündlichen Prüfung: 30.03.2000

Danksagung

Die vorliegende Dissertationsschrift entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Laboratorium für Maschinenelemente und Förderwesen an der Universität der Bundeswehr Hamburg.

Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Rainer Bruns danke ich sehr für die Betreuung dieser Arbeit. Darüber hinaus gilt ihm mein ganz besonderer Dank für die Tatsache, daß er es mir ermöglicht hat, auch noch die letzten Monate meiner Dienstzeit an der Universität verbringen zu dürfen. Ohne seinen persönlichen Einsatz hätte meine Zeit als aktiver Offizier einen deutlich unschöneren Abschluß gefunden.

Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Wolfram Funk spreche ich für die Übernahme des Korreferates meinen Dank aus. Seine Anregungen im Bereich der Konstruktionslehre und seine Formulierungshilfen waren für diese Arbeit sehr förderlich.

Für die freundliche Unterstützung des Laborteams bei diversen Basteleien danke ich Herrn Holger Kumpfert, Herrn Werner Albe und Herrn Dipl.-Ing. (FH) Bernfried Heinken. Besonders Herr Holger Kumpfert war stets für neue Fertigungsverfahren außerhalb des Normalen zu begeistern.

Meinen ehemaligen Kollegen und Kolleginnen Herrn Dr.-Ing. Torsten Steffen, Herrn Dr.-Ing. Michael Schrader, Herrn Dipl.-Ing. Christian Witala und Frau Kerstin Semcken danke ich für die kollegiale Zusammenarbeit. Herrn Dipl.-Ing. Christian Witala wünsche ich an dieser Stelle viel Erfolg bei der Beendigung seines Promotionsverfahrens.

Auf der militärischen Seite danke ich Herrn Kapitän zur See Dipl.-Ing. Norbert Schütte und Herrn Oberst Dipl.-Ing. Erwin Lentz für ihre tatkräftige Unterstützung in den Momenten, die ohne ihren Einsatz eine erfolgreiche Beendigung dieser Promotion verhindert hätten. Herrn Oberleutnant Werner Kick danke ich für die vertrauensvolle Zusammenarbeit und die unkonventionellen Lösungsvorschläge und -verfahren im Bereich der Personalführung.

Ein ganz besonderer Dank gilt all jenen, die diese Arbeit während ihrer Entstehung korrigiert haben. Hier will ich insbesondere Frau Ute Klockmann, Frau Janine Wanderburg, Frau Katja Lieder, Herrn Axel Czaya und Herrn Hendrik Just erwähnen.

Die im Rahmen dieser Arbeit genutzte Software hätte ohne die Mitarbeit meiner 66 Studien- und Diplomarbeiter nicht erstellt werden können. Ihnen danke ich für den teilweise grenzenlosen Aufwand, den sie bei der Programmierung betrieben haben. Stellvertretend sollen die Herren Fabian Kunz und Andreas Richter genannt werden.

Bei den unzähligen Mitbewohnern der Wohnebene W3-Oberdeck bedanke ich mich für die fast 10 Jahre, die ich während der Zeit als Student und wissenschaftlicher Mitarbeiter dort verbringen konnte. Einige Erlebnisse werden mir stets unvergessen bleiben.

Für die persönliche und moralische Unterstützung, ohne die eine solche Arbeit nicht entstehen kann, danke ich meinen Eltern Karin und Egon, meinem Bruder Marcus, der Familie Eickelberg (Chefin und Chef), der HüttenCrew^(TM) sowie der König Pilsener Brauerei.

Last but not least bedanke ich mich von Herzen bei Frau (Fräulein) Andrea Laudahn für unsere gemeinsame Zeit im letzten Jahr.

Hamburg, im April 2000

Matthias Reuter

Inhaltsverzeichnis

Übersicht

Abkürzungs-, Symbol- und Variablenverzeichnis

1	Einführung	1
1.1	Nutzen von Innovationen	1
1.2	Differenzierung bezüglich der Innovationshöhe	2
1.3	Innovationsgenerierung	4
2	Grundlagen und Stand der Forschung	7
2.1	Problemstellung und Zielsetzung	7
2.2	Geschichte und Stand der Forschung	9
2.2.1	Kreativitätstechniken und widerspruchorientierte Techniken	9
2.2.2	Innovationsbezogene Gesamtsysteme und Innovationssoftware	11
2.2.3	Künstliche Intelligenz und Expertensysteme	13
2.3	Definitionen	15
2.3.1	Kreativität und Widerspruchsorientierung	15
2.3.2	Innovationen und Innovationstechniken	16
2.3.3	Künstliche Intelligenz und Expertensysteme	17
2.4	Abgrenzung und Aufbau der Arbeit	18
3	Systematische Methoden	21
3.1	Grundlagen der methodischen Ideenfindung	21

3.1.1	Intuitive Ideenvielfalt	22
3.1.2	Intuitive Ideenbündelung	23
3.1.3	Systematische Ideenvielfalt	24
3.1.4	Systematische Ideenbündelung	25
3.1.5	Abschließende Betrachtung	25
3.2	Der Ansatz des methodischen Erfindens nach Altschuller	27
3.2.1	Definition eines idealen Endresultates	28
3.2.2	WePol-Systeme	29
3.2.3	Der Algorithmus ARIS	31
3.3	Die widerspruchsorientierte Innovationsstrategie WOIS	36
3.4	Weitere Methoden	38
4	Grundzüge der Expertensysteme	45
4.1	Wissensrepräsentation	46
4.2	Inferenzmaschine	52
4.3	Wahl der Entwicklungsumgebung	55
4.4	Wissensakquisition	57
5	Integration in ein Gesamtsystem	61
5.1	Neuer Ansatz im Vergleich zum Stand der Forschung	61
5.2	Wissensakquisition für die Methoden	64
5.2.1	Die methodische Ideenfindung	65
5.2.2	Das methodische Erfinden	69
5.3	Die Vorgehensweise bei systematischen Neuerungen	73
5.4	WePol-Umformung	75
6	Aufbau des Programms	81
6.1	Wissensakquisitionskomponente	84
6.2	Anwendungsumgebung	87

7	Beispielhafte Anwendung des Gesamtsystems	91
7.1	Beschreibung des Projektes	92
7.2	Verlauf und Ergebnis des Projektes	93
7.3	Erfahrungen und Rückschlüsse für das Gesamtsystem	98
8	Zusammenfassung und Ausblick	101
9	Literaturverzeichnis	105
	Lebenslauf	

Übersicht

Die verschiedenen Systeme der methodischen Ideenfindung, des methodischen Erfindens im klassischen Ansatz nach *Altschuller*, der widerspruchsorientierten Innovationsstrategie und weiterer Methoden, zu denen die Konstruktionsmethodik, die Bionik wie aber auch die Ergebnisse von *Delphi*-Studien gehören, können von Unternehmen zur Lösung von Innovationsaufgaben genutzt werden.

Tatsächlich werden aber nur kleine Bereiche aus dem gezeigten Potential an Methoden genutzt. Dieses liegt neben der mangelnden Kenntnis der Existenz der Methoden an der teilweise benutzerunfreundlichen Aufbereitung der Innovationstechniken.

Altschullers Theorie ist in der europäischen Industrie weitgehend unbekannt. Lediglich die Einflechtung seines Ansatzes in die widerspruchsorientierte Innovationsstrategie schaffte einen kleinen Bekanntheitsgrad. Ebenso werden die klassischen Kreativitätstechniken zu selten und häufig falsch genutzt. Diese Sachverhalte führen insgesamt zu einer unzureichenden Ausschöpfung vorhandener Innovationspotentiale.

Um die oben dargestellten Mängel abzustellen, wäre es möglich, in einem ersten Schritt die einzelnen Techniken getrennt auf geeignete Weise aufzubereiten. Auch hier könnte eine softwareorientierte Aufbereitung gewählt werden. Vielversprechender ist aber die zusammenhängende Nutzung der Techniken in Form eines neu zu entwerfenden Gesamtsystems.

Der Grundgedanke für die Verbindung der einzelnen Methoden zu einem übergreifenden Gesamtsystem war die Kenntnis um die Leistungsfähigkeit von Expertensystemen. Diese werden momentan noch nicht für die Beratung bei der Lösung von Innovationsproblemen genutzt.

Auf diese Weise werden nicht nur die aufwendig zu lernenden, aber leistungsfähigen Methoden, wie das methodische Erfinden nach *Altschuller* und die widerspruchsorientierte Innovationsstrategie, für jedermann nutzbar, sondern es kann auch die Verknüpfung aller Systeme unter Ausnutzung ihrer spezifischen Vorteile realisiert werden.

Ansätze, die bis jetzt dazu unter anderem von *Koller* gemacht wurden, sind als sequentielle Listen oder in Form einfacher Flußdiagramme aufgebaut. Diese Darstellungs- und Nutzungsform ist inflexibel und lediglich von Experten zu beherrschen.

Die widerspruchorientierte Innovationsstrategie (*WOIS*) stellt auch eine Integration mehrerer Methoden dar. Auch wenn der dort gewählte Ansatz parallele Strukturen aufweist, sind die Verknüpfungen untereinander starr; die Elemente sind nur durch evaluierende Rücksprünge miteinander verbunden.

Softwarepakete, die den Entwickler in der Bearbeitung von Innovationsaufgaben unterstützen, sind schon auf dem Markt etabliert. Diese Programme arbeiten aber nur die vorgegebenen Ablaufschemata ab und bieten dem Nutzer lediglich Beispiele von Wirkprinzipien und Lösungsvorschlägen sowie eine Speicherung der gewonnenen Daten an.

Die zu entwickelnde Software soll im Gegensatz dazu einen interaktiven Dialog mit dem Nutzer aufbauen und anhand der individuellen Situation die geeignetsten Methoden in ihrer richtigen Reihenfolge und unter Ausnutzung der besten Verknüpfung einsetzen. Um eine hohe Akzeptanz, eine einfache Bedienbarkeit und somit einen großen Verbreitungsgrad zu ermöglichen, baut die Software auf der *MICROSOFT* Bedienoberfläche auf.

Abkürzungs-, Symbol- und Variablenverzeichnis

Abkürzung	Bedeutung
AI	Artificial Intelligence
AKZ	Abmessung Kosten Zeit
ARIS	algorithm rešenija izobretatel'skich zadač (Algorithmus zur Lösung von Erfindungsaufgaben)
Basic	Beginner's All-purpose Symbolic Instruction Code
BMB+F	Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie
CAC	Computer Aided Creativity
CAI	Computer Aided Innovation
DEC	Digital Equipment Corporation
DOS	Disk Operating System
ESDS	Expert System Development Software
EMYCIN	Empty MYCIN auch Essential MYCIN (Expertensystem-Shell)
FePol	Ferromagnetischer Stoff - magnetisches Feld
FFZ	Flurförderzeug
FMEA	Fehler-Möglichkeiten-Einfluß-Analyse
GEM	Graphic Environment Manager
GPS	General Problem Solver
GUI	Graphical User Interface
IER	Ideales Endresultat
IM	Ideale Maschine
INSTI	Innovationsstimulierung der deutschen Wirtschaft durch wissenschaftlich-technische Information
KI	Künstliche Intelligenz
LISP	List Processing Language
MacOS	Macintosh Operating System
MDI	Multiple Document Interface
MYCIN	Suffix zahlreicher Antibiotika (z.B.: Clindamycin, Erythromycin und Lincomycin)
NASA	National Aeronautics & Space Administration
NT	New Technology
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development
OS	Operating System (Betriebssystem)

Abkürzung	Bedeutung
OSF	Open Software Foundation
PC	Personal Computer
PROHEAL	Programm zum Herausarbeiten von Erfindungsaufgaben und Lösungsansätzen
PROLOG	Programming in Logic
RAM	Random Access Memory
SUMEX	Stanford University Medical Experimental Computer Center
TM	Trade Mark
TOS	Tramiel Operating System
TRIS	teorija rešenja izobretatel'skich zadač (Theorie zur Lösung von Erfindungsaufgaben)
UNIX	Uniplexed Information and Computing System
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
WePol	Gebildet aus den erste Silben von: večestvo pole (Stoff-Feld)
WOIS	Widerspruchsorientierte Innovationsstrategie

Symbole	Bedeutung
$F \rightarrow$	Feld am Eingang: „Feld wirkt...“
$\rightarrow E$	Feld am Ausgang: „Feld läßt sich gut durch die Wirkung ... beeinflussen (ändern, nachweisen, messen)“
F'	Zustand des Feldes am Eingang
F''	Zustand desselben Feldes am Ausgang (die Parameter ändern sich - nicht aber die Natur des Feldes)
\tilde{F}	veränderliches Feld
S'	Zustand des Stoffes am Eingang
S''	Zustand des Stoffes am Ausgang
$S' - S''$	variabler Stoff, der abwechselnd im Zustand S' und im Zustand S'' ist (z.B. unter der Wirkung eines veränderlichen Feldes)
Δ	<i>WePol</i> in allgemeiner Form
---	Wirkung oder Wechselwirkung (in allgemeiner Form, unspezifiziert)
\Rightarrow	<i>WePol</i> -System wird übertragen in ein neues <i>WePol</i> -System
\rightarrow	Wirkung
\leftrightarrow	Wechselwirkung
$---$	Notwendige Wirkung (oder Wechselwirkung), die entsprechend der Bedingung der Aufgabe eingeführt werden muß
\sim	Unbefriedigend Wirkung (oder Wechselwirkung), die entsprechend der Bedingung der Aufgabe geändert werden muß
$()$	Eingeschränkt anwendbar
•••	Sehr gute Eignung
••	Gute Eignung
•	Geeignet
○	Nicht geeignet

Variablen	Bedeutung	Definitionsbereich
A	Wirkungsmatrix für Wirkungen am Ausgang	
E	Menge der Elemente	
E	Wirkungsmatrix für Wirkungen am Eingang	
f	Index für die Umformregel	N^{19}
F	Menge der Felder	
G	Gesamtwirkungsmatrix	
m	Anzahl der Stoffe	N^0
n	Anzahl der Felder	N^0
p	Anzahl der Elemente	N^0
P	Wirkungsmatrix für permanente Wirkungen	
S	Menge der Stoffe	
u	Index für den Umformschritt	N^0
V	Wirkungsmatrix für veränderliche Wirkungen	

Die Namen Windows, Windows95, Windows98, WindowsNT, Windows2000, UNIX, VMS, DOS, TOS, Solaris, MacOS, Dec-Windows, Visual C++, Visual Basic, Heureka, Tech-Optimizer, Innovation WorkBench System, Ideator System, Improver System, Anticipatory Failure Determination System, TriSolver, Mycin, Emycin, Personal Consultant+, Nexpert Object und M1 sind Waren- oder Markenzeichen beziehungsweise eingetragene Waren- oder Markenzeichen der Firmen Microsoft, GEM, OSF/Motif, OpenLook, Sun, Apple Macintosh, Dec, Invention Machine, Ideation International Inc., TriSolver Consulting, Serious Creativity, QFD-Software, Sumex, Texas Instruments, Neuron Data und Frametec.

Kapitel 1

Einführung

1.1 Nutzen von Innovationen

Innovationen spielen nicht nur in Deutschland eine immer größere Rolle für das wirtschaftliche Wachstum. Das Sozialprodukt wird im Vergleich zu anderen Staaten von der deutschen Volkswirtschaft unter materiell und finanziell benachteiligten Standortbedingungen erwirtschaftet; natürliche Ressourcen sind nur im geringen Maße vorhanden und das Lohnniveau ist vergleichsweise hoch. Zusätzlich schränken Auflagen für den Umweltschutz und die Sozialverträglichkeit von Arbeit und Wirtschaft den Spielraum der Unternehmen stark ein.

Eine der wenigen Chancen für die deutsche Wirtschaft, konkurrenzfähig zu bleiben, besteht in dem Versuch, immerfort neue Produkte, Verfahren und Dienstleistungen hervorzubringen. Dabei ist es für den langfristigen wirtschaftlichen Erfolg bedeutend, daß sich die Neuerungen patentrechtlich oder mit Hilfe des Gebrauchsmusterschutzes absichern lassen. Über diesen juristischen Anspruch an der Neuerung können sich Unternehmen Märkte abgrenzen und einen befriedigenden Gewinn erzielen.

Andere Staaten, insbesondere die asiatischen Länder, sind wesentlich erfolgreicher in der Generierung von Neuerungen und in der zügigen Vermarktung der so geschaffenen Produkte. Diese Tatsache spiegelt sich unter anderem in der Abbildung 1.1 wider. Aus dieser Erkenntnis heraus entwickelte sich in der letzten Zeit der Ruf nach verstärkten Anstrengungen bei der Schaffung von Innovationen.

Schon an dieser Stelle ist erkennbar, daß es vorteilhaft ist, gezielt und zuverlässig neue Ideen zu produzieren. Wenigstens aber sollte es möglich sein, den Wirkungsgrad bei der Schaffung neuer Produkte zu erhöhen.

Dieser Gedanke wird auch in zahlreichen Veröffentlichungen und Zeitungsartikeln ausgedrückt. So wird von *Warnecke* in einem Artikel *Millers* gefordert, die Gesellschaft

müsse „das Innovationstempo erhöhen, denn nur wer rasch und konsequent Erfindungen in marktreife Produkte und Verfahren umsetzt, kann in Zukunft Wohlstand und Beschäftigung sichern“ [Mil97].

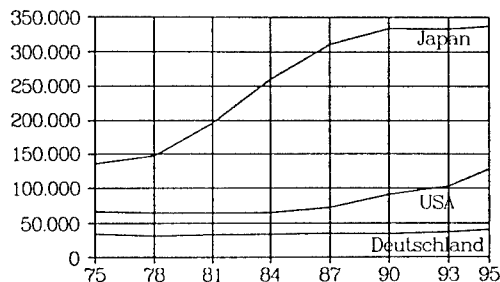


Abbildung 1.1: Internationale Patentaktivitäten (Anzahl der Patentanmeldungen pro Kalenderjahr [BMBF96/1])

1.2 Differenzierung bezüglich der Innovationshöhe

Die Entwicklung stellt qualitativ die unterste Stufe im Bereich der Neuschaffung von Produkten oder Leistungen dar. Zugleich deckt aus quantitativer Sicht die Tätigkeit des Entwickelns aber die meisten Verbesserungen und Änderungen an Produkten und Leistungen ab.

Der Begriff der Entwicklung wird auf verschiedene Weise definiert. Die VDI-Richtlinie 2221 beschreibt das Entwickeln als „zweckgerichtetes Auswerten und Anwenden von Forschungsergebnissen und Erfahrungen, z.B. technischer, ökonomischer und sonstiger Art“ [VDI2221]. Eine für die Abgrenzung zu den Begriffen Erfinden und Entdecken bessere Definition liefert *Linde* [Lin93]. Nach *Linde* entsteht eine Entwicklung durch das Präzisieren und Lösen vorhandener Aufgaben, denen ein technisch-physikalischer Kompromiß zugrunde liegt, wobei durch die Verbesserung der Lösung auf die bis dahin genutzte Weise eine Verschlechterung anderer Parameter akzeptiert wird, um insgesamt eine befriedigende Problemlösung zu erzielen.

Der Begriff der Erfindung bzw. der erfinderischen Tätigkeit wird auf mannigfaltige Weise definiert. Je nach dem, ob die Definition aus dem juristischen, physikalischen oder ingenieurtechnischen Fachgebiet entstammt, ergeben sich unterschiedliche Kriterien für die Patentwürdigkeit einer Neuerung.

Aus juristischer Sicht ist der Begriff der Erfindung ein unbestimmter Rechtsbegriff, der im Patentrecht nicht eindeutig definiert wird. Vielmehr wird der Begriff im Rahmen der

rechtlichen Abgrenzung stets den neuesten Erkenntnissen der Wissenschaft angepaßt. Obwohl für die Patentfähigkeit einer Neuerung ihre Abstammung aus dem Bereich der Technik nicht vorgeschrieben ist, wird in §27(3) und §36(2) des Patentgesetzes eingeschränkt, daß es sich um angewandte Erkenntnisse aus technischen Gebieten handeln muß. Der Bundesgerichtshof kennzeichnet die dem Patentschutz zugänglichen Erfindungen als eine „planmäßige Benutzung beherrschbarer Naturkräfte außerhalb der menschlichen Verstandestätigkeit zur unmittelbaren Herbeiführung eines kausal übersehbaren Erfolgs“ [Ben88].

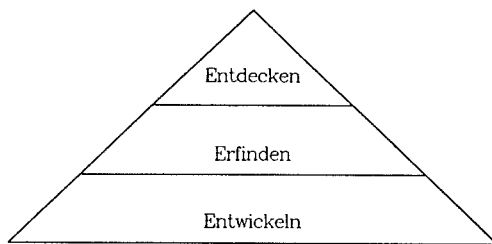


Abbildung 1.2: Hierarchische Abgrenzung zwischen Entwicklung, Erfindung und Entdeckung

Aus ingenieurtechnischer Sicht zeichnet sich nach *Zobel* die erfinderische Tätigkeit durch Neuheit, gewerbliche Anwendbarkeit und technischen Fortschritt aus, wobei der Tatbestand einer Neuheit dann gegeben ist, wenn sie sich für den Fachmann nicht in naheliegender Weise aus dem Stand der Technik ergibt [Zob87]. Außerdem liegt nach *Zobel* einer Erfindung stets die „Schaffung eines ökonomisch effektiven und zuverlässig funktionierenden Mittel-Zweck-Zusammenhangs“ zugrunde, wobei der Erfinder überwiegend mit bekanntem, technischem Wissen arbeitet, welches er zum Lösen reproduzierbarer, technischer Aufgaben einsetzt [Zob91].

Die Definition des Erfindungsbegriffes aus physikalischer Sicht wird von *Altschuller* gegeben. Er grenzt den Begriff der Erfindung in Übereinstimmung mit der von *Zobel* gegebenen Definition von der Entwicklungstätigkeit ab. *Altschuller* setzt als Maßstab für eine Anerkennung als Erfindung fest, daß ein technisch-physikalischer Widerspruch überwunden wurde und es im Gegensatz zur Entwicklung nicht zu einem technisch-physikalischen Kompromiß gekommen ist [Alt73]. Das heißt, daß eine Verbesserung erzielt worden ist, ohne gleichzeitig eine Verschlechterung des Objektes in Hinblick auf andere Kriterien in Kauf nehmen zu müssen [MP96].

Unter einer Entdeckung wird nach *Benkard* das Auffinden oder Erkennen bereits vorhandener, bisher aber unbekannter Gesetzmäßigkeiten in der Natur, Gesellschaft, Technik oder des Denkens, mithin dem Erklären und Durchdringen von Ursache-Wirkungs-Zusammenhängen verstanden [Ben88]. Die „wichtigste Klasse von Entdeckungen“ ist

nach Zobel die der „naturgesetzmäßigen Effekte, insbesondere die (der) physikalischen“ [Zob91].

Die Entdeckung grenzt sich bildlich beschrieben durch ihre Definition nach unten hin eindeutig von dem Begriff der Erfindung ab (siehe auch Abbildung 1.2). Während die Erfindung als zweckgerichtetes angewandtes Lösen eines Problems mit technischen und physikalischen Mitteln gedeutet werden kann, steht bei der Entdeckung die Erklärung einer bereits existierenden Gesetzmäßigkeit im Mittelpunkt. Es ist allerdings darauf hinzuweisen, daß in vielen Fällen Entdeckungen eine Vielzahl von Erfindungen nach sich ziehen, da eine neue, physikalische Gesetzmäßigkeit für den gezielten Einsatz bei der Überwindung eines technisch-physikalischen Widerspruches zur Verfügung steht.

1.3 Innovationsgenerierung

In der Literatur wird eine große Anzahl verschiedener Möglichkeiten zur Erzielung von Innovationen beschrieben. Diese lassen sich in zwei verschiedene Gruppen einteilen. Die erste Gruppe beinhaltet die systematischen Methoden der Ideenfindung, die umgangssprachlich als Kreativitätstechniken bezeichnet werden. Ebenso wird in einigen Veröffentlichungen die Mitarbeiterkreativität in dieser Gruppe zugeordnet. Zu der zweiten Gruppe gehört das weniger bekannte Verfahren des methodischen Erfindens nach dem klassischen Ansatz *Altschullers (ARIS)* und deren Erweiterungen wie zum Beispiel die widerspruchorientierte Innovationsstrategie (*WOIS*).

Auf die beiden oben genannten Gruppen wird im weiteren Verlauf in Kapitel 3 detaillierter eingegangen.

Als weitere Möglichkeit soll die am weitesten verbreitete Herangehensweise *trial and error* (Versuch und Irrtum) erwähnt werden, die allerdings keine Methode im eigentlichen Sinne ist und demnach zu keiner der beiden oben erwähnten Gruppen der Innovationsgenerierung zugeordnet werden kann. Sie führt zu einem vollkommen unsystematischen und inkonsistenten Arbeiten und somit zu vielen Leerversuchen, die den Wirkungsgrad verschlechtern. Eine letzte Vervollkommnung erlebte das *trial and error* Ende des 19. Jahrhunderts als *Edison* in seiner Werkstatt bis zu tausend Mitarbeiter beschäftigte, um alle Varianten seiner späteren Erfindungen durchprüfen zu lassen [Alt84].

Der Vollständigkeit halber sollen an dieser Stelle die unkonventionellen, nicht systematischen Methoden erwähnt werden. Neben dem einfachen Warten auf neue Ideen gehört dazu auch die unkonventionelle und teilweise auch nicht legale Steigerung der Kreativität durch Alkohol, Drogen und andere Hilfsmittel. Zweifelsfrei muß aber anerkannt werden, daß mit diesen Hilfsmitteln bedeutende Neuerungen und künstlerische Leistungen voll-

bracht worden sind. Die Namen *Charles Bukowski*, *Ernest Hemingway* und *Friedrich Schiller* stehen stellvertretend für eine große Anzahl derer, die auf diese Weise mindestens die Hemmschwelle der Ablehnung neuer Ideen oder Visionen überwunden haben.

Wenngleich die unkonventionellen, nicht systematischen Methoden im Industrieinsatz nicht vorzufinden sind, werden Erkenntnisse aus dem Zusammenhang zwischen ungewöhnlichen Erfahrungen und Kreativität bei der Innovationsstimulierung genutzt. So setzen vor allen Dingen amerikanische Unternehmen auf den Erfolg von Dienstbesprechungen und Sitzungen an ungewöhnlichen Orten wie Freizeitparks und Sportstätten. Dokumentierte Studien über den nachweisbaren Zugewinn an Innovationstätigkeiten konnten der Literatur allerdings nicht entnommen werden.

Als Ausgangspunkt der unternehmerischen Innovationsgenerierung werden verschiedene Unternehmensbereiche (Abteilungen) genannt. Unter der Berücksichtigung, daß Qualitätszirkel, Mitarbeitererfindungsprogramme und andere übergreifende Ansätze bei dieser Arbeit nicht integriert werden, kann die Definition der *OECD* genutzt werden.

Nach dem *Frascati*-Handbuch der *OECD*, welches das Bundesministerium für Wirtschaft für die Mittelzuteilungen im Forschungsbereich nutzt, wird der Ort unternehmerischer Forschung wie folgt definiert [Bro93]:

- Grundlagenforschung

Eine ausschließlich auf die Erzeugung neuer wissenschaftlicher Ergebnisse ausgerichtete Arbeit, die nicht an einer praktischen Anwendbarkeit orientiert ist.

Es handelt sich hierbei nicht um eine Grundlagenforschung im Sinne der Entdeckung naturwissenschaftlicher Effekte. Vielmehr steht auch hier die möglicherweise langfristig gegebene Anwendbarkeit im Vordergrund, wie sie für die unternehmerische Tätigkeit zwingend ist. Grundlagenforschung wird für gewöhnlich aufgrund der hohen Kosten und der nur langfristig zu erzielenden unsicheren Ergebnisse lediglich von Weltunternehmen betrieben.

- Angewandte Forschung

Im Gegensatz zu der Grundlagenforschung erfolgt hier eine Ausrichtung auf eine praktische industrielle Zielsetzung und Anwendung.

In diesen Bereich lassen sich die üblichen Entwicklungs- und Grundlagenentwicklungsabteilungen von Industrieunternehmen einordnen.

- Experimentelle Forschung

Ist die Nutzung der in den Bereichen Grundlagenforschung und angewandte Forschung ermittelten Ergebnisse zur Verbesserung von Produkten, Prozessen u.a..

Die *FMEA* (Fehler-Möglichkeiten-Einflußanalyse) ist ein Hilfsmittel für diese Abteilungen.

Die im Rahmen dieser Arbeit thematisch bedingt in Frage kommenden Anwendungsfelder sind die Grundlagenforschung und mit Einschränkungen die angewandte Forschung. Aus diesem Grund sind die Bereiche Konstruktionslehre und methodisches Entwickeln und Konstruieren (nach *VDI-Norm 2221*) sowie die *FMEA* aus der Arbeit ausgespart. Eine Erwähnung erfolgt vollständigshalber nur im Zusammenhang mit der systematischen Ideenbündelung und den weiteren Methoden.

Kapitel 2

Grundlagen und Stand der Forschung

2.1 Problemstellung und Zielsetzung

Ausgangssituation bei der Problemstellung für die vorliegende Arbeit war der Gedanke, eine Möglichkeit zu schaffen, um die Innovationskraft von Unternehmen gezielt und nachweisbar zu erhöhen. An dieser Stelle wird die Zweiteilung der Problemstellung sichtbar. Zum einen soll die methodische und systematische Generierung von Neuerungen ermöglicht werden, zum anderen muß die Nachweisbarkeit dieses Prozesses realisiert werden, was letztendlich einer Qualitätskontrolle des Innovationsvorgangs nahe kommt.

Der Nutzung von Innovationsmethoden in Industrieunternehmen stehen mehrere Hindernisse entgegen, die zu überwinden sind:

1. geringe Kenntnis über die Innovationsmethoden,
2. mangelndes Vertrauen in die Wirksamkeit der Methoden,
3. fehlendes Wissen über die richtige Anwendung und
4. nicht vorhandener Zwang zur Nutzung der Methoden

Die oben genannten Hindernisse bedingen sich teilweise gegenseitig. Als Mittel, um die Innovationstechniken in Industrieunternehmen besser einzusetzen, kristallisierte sich die Schaffung einer Software heraus. Diese soll den Industrieunternehmen ein integrierendes System (Gesamtsystem) aller Innovationstechniken zur Verfügung stellen.

Für die technische Umsetzung der Integration können verschiedene Mittel genutzt werden. Neben Tabellen oder Flußdiagrammen können Regelbäume oder Expertensysteme eingesetzt werden. Hierbei wurde vorab die Festlegung getroffen, daß ein Expertensystem

genutzt werden soll. Ein solches kann je nach Formulierung der Regeln und der Auslegung seiner Eigenschaften (siehe Kapitel 4.2) am flexibelsten eingesetzt werden.

Bei den Überlegungen zur qualitativen Überwachung des Innovationsprozesses stellte sich heraus, daß hierzu annähernd keine Veröffentlichungen vorliegen. Zwar wird von *Brockhoff* eine Wertung der Innovationskraft mit Hilfe der Einführung von Kostenfaktoren vorgeschlagen, hierdurch wird aber keine Aussage über die Qualität gewonnen [Bro93]. Im Idealfall kann mit diesem Hilfsmittel die Effizienz von Forschungs- und Entwicklungsabteilungen nachvollzogen werden.

Aufgrund der Breite des so gestellten Themas und der Tatsache, daß einige Teilgebiete bisher unbearbeitet waren, wurden Einschränkungen eingeführt, die in Abschnitt 2.4 dargestellt sind.

Aus der Problemstellung heraus ergibt sich eine dreistufige Vorgehensweise für den Aufbau des Gesamtsystems, das in Abbildung 5.2 dargestellt ist.

In der ersten Stufe sind die Methoden und Hilfsmittel zu sammeln, die für einen systematischen Innovationsprozeß geeignet sind. Darüber hinaus sind sie bezüglich ihrer Eignung für das zu erstellende Gesamtsystem zu prüfen. Diese Eignung schließt die Größen

- Faßbarkeit und Bewertbarkeit im Rahmen eines Expertensystems und
- Programmierbarkeit

ein.

Aufgrund des Wissens über die Leistungsfähigkeit von Expertensystemen sollten diese für den Aufbau des Gesamtsystems genutzt werden. Alternativ hätten Flußdiagramme oder Algorithmen eingesetzt werden können.

In der zweiten Stufe sind die Bedingungen und Eigenschaften des Expertensystems festzulegen. Dazu gehören:

- der Interpretations- und Integrationsansatz für die Innovationsmethoden,
- die Form der Wissensrepräsentation,
- die Suchstrategie,
- die Metaregel und
- die Art der Wissensakquisition.

In der letzten Stufe sind die Ergebnisse der ersten und zweiten Stufe programmiertech-
nisch umzusetzen. Erst dieser Schritt ermöglicht die Verifikation und Validierung der
Ergebnisse.

Zielsetzung der Arbeit ist es demnach, ein theoretisches Grundgerüst zu schaffen, in das
die Innovationstechniken integrierbar sind. Im Vordergrund stand die Prämisse, als Ergeb-
nis ein allgemein anwendbares Werkzeug zu schaffen, das auch außerhalb des universitären
Bereiches genutzt werden kann.

Aus der zentralen Forderung nach allgemeiner Nutzbarkeit folgen eine Reihe von abgelei-
teten Anforderungen. Dieses sind unter anderem die:

- allgemeine Zugänglichkeit zu dem System,
- einfache Bedienbarkeit,
- schnelle Erlernbarkeit,
- Nutzung breiter Anwendungsfelder,
- zeitgemäße Aufbereitung und
- nachvollziehbare Wirksamkeit.

Darüber hinaus soll das aufgebaute Programm die allgemeine Akzeptanz von kreativen
Ansätzen in Unternehmen steigern. Die dadurch zu gewinnenden Vorteile sind in Kapitel
5.2.1 dargestellt.

2.2 Geschichte und Stand der Forschung

2.2.1 Kreativitätstechniken und widerspruchorientierte Tech- niken

Geschichtlich gehen die Varianten der methodischen Ideenfindung -die Kreativitätstechni-
ken- schon auf die Griechen zurück (siehe Kapitel 3.1.3). Erste Analysen von ideenbildenden
Prozessen stammen von *Dewey*. Sein fünfteiliges Phasenmodell setzte sich allerdings
nicht durch. Vielmehr gehen auch die heutigen Ansätze auf *Poincaré* zurück, der 1913
den Ideenfindungsprozeß in die vier Phasen einteilte.

Die heute gebräuchlichste Einteilung nach *Csikszentmihalyi* ersetzt die Illuminationspha-
se von *Poincaré* durch die Inspirationsphase und ergänzt den gesamten Prozeß am Ende

durch eine Ausarbeitungsphase [Csi97]. Somit ergibt sich die Aufteilung in die Vorbereitungsphase, die Inkubationsphase, die Inspirationsphase, die Verifikationsphase und die Ausarbeitungsphase.

Im Fachgebiet der Psychologie sind andere Herangehensweisen gebräuchlich. So stellt *Krause* in der von *Klix* veröffentlichten Sammlung fest, daß die Leistung bei Problemlösungsprozessen von den sich wechselseitig beeinflussenden Systemen Einstellungsbildung, Strategien- und Hypothesenbildung sowie dem Gedächtnis abhängt [Kli70]. Alle anderen Größen und die gesamte Leistungsfähigkeit des Problemlösungsprozesses lassen sich nach *Krause* aus den oben genannten Größen ableiten.

Erste dokumentierte Versuche wurden aber erst 1937 durchgeführt. Unter Leitung des Unternehmens *GENERAL ELECTRIC* wurde in Versuchen festgestellt, daß durch die Schulung bestimmter Techniken die Ideenproduktion gesteigert werden kann [Joh87].

Die Einführung des Begriffes Kreativität erfolgte 1950 durch *Guliford*, der bei einer Tagung der *American Psychological Association* einen Vortrag über das Thema Creativity hielt.

Seither hat sich die Definition und Deutung des Begriffes Kreativität und die Möglichkeit der Steigerung derselben stark verändert. So existieren heute eine Vielzahl an Deutungen und Definitionen, die aus den verschiedenen Fachrichtungen entstanden sind.

Der Stand der Technik bei den vielfältigen Varianten der Kreativitätstechniken ist in Kapitel 3.1 dargestellt.

Unabhängig von den Kreativitätstechniken entwickelten sich schon frühzeitig die widerspruchsorientierten Methoden, auf die im weiteren eingegangen werden soll. Ursprünglich gehen die widerspruchsorientierten Innovationstechniken nicht auf *Altschuller* sondern auf *Flögel* zurück. *Flögel* beschreibt schon 1760 in seinem Buch „Einleitung in die Erfindungskunst“ die Auffälligkeiten von systematischen Erfindungen.

Wenn der Begriff der widerspruchsorientierten Innovationstechniken weiter gefaßt wird, können Wechselgespräche unter *Sokrates* (469-399 v. Chr.) als Wurzel gezielter Innovationsanstrengungen verstanden werden [Obe99]. Bei *Flögels* Frageketten lassen sich allerdings erstmals Elemente entdecken, die sich bis in die modernen Verfahren, wie zum Beispiel *WOIS*, gehalten haben. Bei *WOIS* finden sich diese Frageketten in den beiden Orientierungsfeldern am Anfang der Strategie wieder [Obe99].

Obwohl der bedeutend weiter zurückreichende Ursprung dieser Methoden bekannt ist, soll *Altschuller* im weiteren als Urheber betrachtet werden. Dieses bietet sich aus verschiedenen Gründen an. Einerseits war er der Erste, der neben einem angedachten Algorithmus auch Tabellenwerte und Wirkprinzipien hinzufügte, um einen alltäglichen Einsatz zu

gewährleisten, andererseits wurden erst durch die Erfinderschulen, in denen *ARIS* gelehrt wurde, die widerspruchorientierten Ansätze bekannter.

Letztendlich wurde, durch den systematischen Aufbau von *ARIS* bedingt, eine Umsetzung in Form eines Softwaretools realisierbar.

Die beiden Methoden *ARIS* und *WOIS* spiegeln in ihren aktuellsten Versionen den Stand der Technik am anschaulichsten wider. Kleinere und unbedeutendere Verfahren wie *PRO-HEAL* lassen sich auf die oben genannten Methoden zurückführen und werden deshalb nicht weiter betrachtet.

2.2.2 Innovationsbezogene Gesamtsysteme und Innovationssoftware

Gesamtsysteme für die Integration von Innovationsmethoden wurden unter anderem von *Koller* dargestellt. Auch die Strategie *WOIS* stellt eine Verbindung mehrerer Verfahren für Neuerungen dar. Auf eine Vorstellung dieser Ansätze und dem Vergleich mit dem hier erarbeiteten Modell wird in Kapitel 5.1 eingegangen.

Ein neuer Ansatz zur Bildung und Beschreibung von Erfindungsklassen, wie er von *Grabnitzki*¹ angestrebt wird, ist noch im Entwicklungsstadium und kann somit nicht weiter betrachtet werden.

Verfahren zur Bewertung der einzelnen Methoden, die zur Zeit in einer Gruppe um *Albers*² erarbeitet werden, sollen erst in den nächsten Jahren abgeschlossen werden.

Aufgrund der Tatsache, daß über die beiden zuletzt genannten Ansätze noch keine Veröffentlichungen oder Ergebnisse vorliegen, sollen sie im Rahmen dieser Arbeit nicht tiefergehend behandelt werden.

Innovationsbezogene Gesamtsysteme sind bis heute nicht softwaretechnisch umgesetzt worden. Einzelelemente dagegen werden immer häufiger als Programme angeboten. An dieser Stelle soll ein kurzer Überblick gegeben werden.

Software, die sich mit den Methoden des systematischen Erfindens oder den Kreativitätstechniken beschäftigt, wird in vielen Veröffentlichungen mit der Abkürzung *CAI* (Computer Aided Innovation) bezeichnet. Insbesondere in Amerika hat sich diese Bezeichnung durchgesetzt.

Als erste Umsetzung von Innovationstechniken in ein Computerprogramm kann der von *Tsourikov* erstellte Prototyp betrachtet werden, der später in das Unternehmen *Inven-*

¹GRABNITZKI B., HAMBURGER INNOVATIONSBERATER

²ALBERS A., ORDINARIUS, LEITER DES INSTITUTS FÜR MASCHINENKONSTRUKTIONSLEHRE UND KRAFTFAHRZEUGBAU, UNIVERSITÄT KARLSRUHE (TH)

tion Machine einfloß³. Erste deutschsprachige Umsetzungen erfolgten später mit dem Programm *Heureka* [Obe99].

Momentan sind auf dem Markt eine Reihe von Softwaretools für Innovationsprozesse etabliert. Für den Algorithmus von *Altschuller* stehen von mehreren Firmen Produkte zur Verfügung. Auf diese soll kurz eingegangen werden.

Das wohl umfassendste Programm ist der TechOptimizer des amerikanischen Unternehmens *Invention Machine*. Hier sind beinahe alle Elemente von *ARIS* integriert. Es ist das in Amerika am häufigsten verkaufte Programm in diesem Themengebiet. Weltunternehmen wie unter anderem *UNILEVER* nutzen den TechOptimizer für die Lösung von Innovationsproblemen.

Die amerikanische Firma *Ideation International Inc.* bietet vier verschiedene Lösungen an⁴, die sich aber von dem Hauptprodukt Innovation WorkBench System ableiten. Je nach Anwendungsfall stehen die Produkte

- Ideator System
- Improver System
- Anticipatory Failure Determination System

zur Verfügung.

Als deutschsprachige Realisierung wird das Programm TriSolver der Firma *TriSolver Consulting* angeboten⁵. Es stellt die einfachste und preiswerteste Anwendung dar. Für den industriellen Einsatz ist sie weniger geeignet. Vielmehr kann sie als Unterstützung für in dem Algorithmus *ARIS* ausgebildete Ingenieure betrachtet werden.

Alle oben genannten Produkte bemächtigen sich allerdings nicht der künstlichen Intelligenz, um Probleme zu lösen. Vielmehr arbeiten sie einen streng vorgegebenen Rahmen ab. Allerdings sind insbesondere in dem TechOptimizer eine Vielzahl an illustrierten Beispielen integriert. Sie sollen die Wirkprinzipien erklären und so dem Nutzer den Zugang zu dem methodischen Erfinden erleichtern.

Leider widersprechen aber gerade diese illustrierten Beispiele dem Grundgedanken *Altschullers*. Durch sie wird der mentale Trägheitsvektor (siehe auch Abbildung 3.1) der Personen nicht aufgehoben, sondern lediglich in eine andere Richtung bewegt. Diese muß aber nicht zwingend das ideale Endresultat (siehe auch Kapitel 3.2.1) beinhalten. Der

³<http://www.invention-machine.com>

⁴<http://www.ideationtriz.com>

⁵<http://www.trisolver.com>

Begriff des mentalen Trägheitsvektors entspricht dem im Bereich der Konstruktionsmethoden benutzen Ausdruck der Denkfurche.

Auf weitere Tools wie die der Firmen *Serious Creativity* und *QFD-Software* soll nicht weiter eingegangen werden.

Ebenso wie das hier entwickelte Programm nutzen die Mehrzahl der bestehenden Softwarepakete als Betriebssystem die 32-Bit Varianten von *MICROSOFT*.

Programmetechnische Umsetzungen der widerspruchorientierten Innovationsstrategie werden bis zum jetzigen Zeitpunkt nicht auf dem Markt angeboten.

Kreativitätstechniken dagegen werden lediglich als dokumentierende Tools umgesetzt. Eine Beratung oder eine Auswahl geeigneter Methoden existieren nicht. Aus diesem Grund sollen diese Programme nicht weiter betrachtet werden.

2.2.3 Künstliche Intelligenz und Expertensysteme

Die künstliche Intelligenz (KI) entwickelte sich angeregt durch die Erfindung des Digitalrechners in den 50er Jahren. Als Beginn und Umsetzung der ersten Ergebnisse dieses eigenständigen Fachgebietes können erste Rätsel- und Spielprogramme nach dem zweiten Weltkrieg angesehen werden. Vor dem zweiten Weltkrieg war diese neue Fachrichtung vielmehr auf die rein theoretische Beschäftigung mit mathematischer Logik und kognitiver Psychologie beschränkt. Erste Umsetzungsversuche waren eher akademischer Natur.

Während heutzutage verschiedene Systeme der künstlichen Intelligenz bekannt sind, auf die im weiteren Teil der Arbeit noch eingegangen wird, standen damals die neuronalen Netze als modellhaftes Bild einer Möglichkeit im Vordergrund, Rechnern intelligentes Verhalten anzueignen. Dieses Vorgehen kann als bionischer Ansatz verstanden werden, da als Ausgangspunkt der vermutete Aufbau des menschlichen Gehirns genutzt wurde.

Diese Vorgehensweise wurde maßgeblich von *Wiener* und *McCulloch* geprägt. Sie verstanden das Gehirn als kybernetisches Modell vieler Sinnes- und Nervenzellen. Der medizinische Fachbegriff der Nervenzellen (Neuronen) prägte später auch den technischen Ausdruck des Neuronalen Netzes.

In den Jahren 1960 bis 1970 wurden von der Wissenschaft speziellere Probleme angegangen, nachdem *Newell* und *Simon* erkannt hatten, daß das Weltwissen mit Hilfe der künstlichen Intelligenz nicht modellierbar ist. Versuche mit dem *GPS* (General Problem Solver) scheiterten an der kombinatorischen Explosion, die auf Probleme mit den Suchstrategien zurückzuführen sind.

In der darauffolgenden Dekade entdeckte die Arbeitsgruppe um *Feigenbaum*, daß die Einbindung einer Regelstrategie, die auf Erfahrungswerte beruht, diese kombinatorische Explosion wirksam unterbinden kann. Demnach löste die Verkettung vorhandenen Wissens die Problemsuche. Computersysteme, die auf diesem Konzept aufbauten, gehören zur Gruppe der wissensbasierten Systeme.

Der Begriff „wissensbasierte Systeme“ ist bis heute erhalten geblieben; er wird aber im zunehmenden Maße von dem Begriff Expertensystem abgelöst. Dieses geschieht zu unrecht, da die wissensbasierten Systeme neben den Expertensystemen unter anderem auch die automatischen Theorem-Beweiser und die natursprachlichen Systeme einschließen [HH90].

In dem Zeitraum von 1970 bis 1980 wurden die ersten großen industriell genutzten Expertensysteme geschaffen. Das bekannteste und größte ist das 1972 bis 1980 entwickelte Projekt *MYCIN*, das der Diagnose von Infektionskrankheiten dient und bereits nach einigen Jahren in der Qualität der Diagnose die Fachärzte übertraf [Jac87]. Im Rahmen dieses Projektes wurde auch die bis heute am meisten verbreitete Expertensystem-Shell *EMYCIN* entwickelt. Unter Expertensystem-Shells versteht man Entwicklungswerkzeuge für die Implementierung von erhobenem Expertenwissen.

Im Bereich der Expertensysteme stand in dem nächsten Jahrzehnt der Versuch der Integration der Lernfähigkeit in wissensbasierte Systeme im Mittelpunkt der Forschung. Während es eine Vielzahl an Veröffentlichungen zu diesem Thema gibt, sind industriell realisierte Projekte kaum zu finden. Auch das hier realisierte Expertensystem enthält nicht die Eigenschaft des selbständigen Lernens. Gleichwohl beinhaltet es ein Protokollierungswerkzeug zur komfortablen Pflege der Wissensbasis.

Im Bereich der Entwicklung von Expertensystemen steht heute eine Vielzahl von Expertensystem-Shells zur Verfügung. Diese unterscheiden sich hinsichtlich der Verkettungsarten, der Schlußfolgerungsmechanismen und der Suchstrategien. Beispielhaft sollen die bekanntesten Vertreter und deren Hersteller genannt werden [HK89]:

- *EMYCIN* / *SUMEX*
- *Personal Consultant+* / *Texas Instruments*
- *NEXPERT Object* / *Neuron Data*
- *M1* / *Frametec*

Das Arbeiten mit diesen Systemen ist komfortabel und hat zu der starken Verbreitung von Expertensystemanwendungen beigetragen. Gleichwohl schränken sie aber den Nutzer und Programmierer stark ein. Auf dieses Problem wird im weiteren Teil der Arbeit in Kapitel 4.3 eingegangen.

Stand der Technik im Bereich der Expertensysteme ist eine Vielzahl von industriell oder im Alltag genutzten, stabil laufenden Systemen, die in mannigfaltigen Bereichen eingesetzt werden. Der medizinische Bereich sowie die technische Diagnostik sind aber weiterhin Vorreiter bei der Nutzung wissensbasierter Systeme.

Die Nutzung der Wissensbasierten Systeme im Konstruktionsprozeß, und somit im Bereich des Maschinenbaus, wird unter anderem von *Rude* beschrieben [Rud98].

2.3 Definitionen

2.3.1 Kreativität und Widerspruchsorientierung

Für den Begriff Kreativität gibt es eine Vielzahl an Definitionen. Andererseits stellt unter anderem *von Hentig* fest, „... wie ungeklärt Begriff und Tatbestand sind und wie ungedeckt die damit verbundenen Behauptungen und Forderungen“ [Hen98].

Obwohl die von *von Hentig* vorgebrachten Einwände berechtigt sind, soll im Rahmen dieser Arbeit eine Definition gewählt werden, die dem aufzubauenden Gesamtmodell am ehesten gerecht wird.

Kreativität ist die Fähigkeit eines Individuums oder einer Gruppe, aus bekannten Informationen Ideen zu entwickeln, die in einem gewissen Rahmen als neu, innovativ und sinnvoll akzeptiert werden.

Definitionen, wie sie unter anderem in der Psychologie genutzt werden, sind keine geeignete Grundlage für diese Arbeit. Abweichend zu der oben genannten Definition liegt bei den widerspruchsorientierten Methoden ein auslösendes Prinzip zugrunde.

Der definitionsgemäße Kern von widerspruchsorientierten Methoden wird unter anderem von *Obern timer* erläutert [Obe99].

Eine widerspruchsorientierte Methode „stützt sich ... nicht auf die Logik, sondern auf die Dialektik und auf den dialektischen Widerspruch. Bei ihm sind Beziehungen zwischen Gegensätzen, wie sie in Form von gegensätzlichen Eigenschaften und Tendenzen in den Dingen und Erscheinungen gleichzeitig auftreten, zugelassen und bilden eine technische und natürliche Einheit. Eine Widerspruchsformulierung in diesem Sinne ist deshalb stets Ausgangspunkt einer hochwertigen Invention oder Innovation.“

Im Rahmen dieser Arbeit soll als widerspruchsorientierte Methode eine Methode verstanden werden, die zur Lösung einer Innovationsaufgabe einen Widerspruch aufbaut. Dieser kann unter anderem

- technisch - technologischer⁶
- technisch - naturwissenschaftlicher
- technisch - ökonomischer

Natur sein [Lin93]. Erst über diesen Widerspruch wird bei den oben genannten Methoden die Denkbarriere durchbrochen und die Neuerung erzeugt.

2.3.2 Innovationen und Innovationstechniken

Auf die Abgrenzung der einzelnen Innovationsarten untereinander soll an dieser Stelle nicht weiter eingegangen werden, da sie hinreichend in Kapitel 1.2 dargestellt worden ist. Da im folgenden Teil der Arbeit Innovationen aus der Sicht der Qualität einer Erfindung betrachtet werden, soll die von *Altschuller* [Alt73] geprägte Definition der Erfindung für den Begriff der Innovation genutzt werden.

Eine Innovation ist entstanden, wenn „... ein technisch-physikalischer Widerspruch überwunden wurde und es ... nicht zu einem technisch-physikalischen Kompromiß gekommen ist“.

Unter dem Begriff Innovationstechnik wird eine große Anzahl an Methoden zusammengefaßt. Demnach ist eine einheitliche, übergreifende Definition nur mit großen Einschränkungen aufzustellen. Die hier gegebene Definition lehnt sich an den Kreativitätsbegriff an.

Innovationstechniken sind Methoden, die ein Individuum oder eine Gruppe darin unterstützen, auf intuitive, systematische oder widerspruchsorientierte Weise Ideen zu erzeugen, die in einem gewissen Rahmen als neu, innovativ und sinnvoll akzeptiert werden.

Im Bereich der Betriebswirtschaftslehre werden der Begriff der Innovation und die daraus ableitbaren Begriffe über monetäre Größen wie Gewinn oder über marktspezifische Elemente wie Marktabgrenzung eingeführt. Diese Sichtweise eignet sich aber nicht für die Beurteilung des aufzubauenden Systems.

⁶Der Begriff „technisch - technischer“ Widerspruch beschreibt den Zusammenhang nach Auffassung des Autors allerdings besser

2.3.3 Künstliche Intelligenz und Expertensysteme

Der Terminus künstliche Intelligenz soll, wie von *Jackson* vorgegeben, eingesetzt werden.

Künstliche Intelligenz „... ist ein Teil der Computerwissenschaft, der sich mit der Entwicklung intelligenter Computersysteme befaßt. Das sind Systeme, die die charakteristischen Eigenschaften aufweisen, die wir mit intelligentem menschlichen Verhalten assoziieren - Verstehen von Sprache, Lernen, Schlüsse ziehen, Probleme lösen und so weiter [Jac87].

Zu den Systemen der künstlichen Intelligenz gehören neben den hier benutzten Expertensystemen die:

- neuronalen Netze,
- natursprachlichen (sprachverstehenden) Systeme,
- bild- und musterverstehenden Systeme,
- Fuzzy-Systeme und
- Robotik.

Andere Arten können auf die oben genannten Varianten zurückgeführt werden. Von *Nauck* wird darüber hinaus die Mischung der verschiedenen Systeme zur Steigerung der Leistungsfähigkeit behandelt [Nau96].

Da im Rahmen dieser Arbeit ein Expertensystem zur Realisierung des integrierenden Gesamtsystems genutzt wird, soll hier die am weitesten verbreitete Definition von *Harmon* und *King* aufgeführt werden.

Ein Expertensystem ist „... ein intelligentes Computerprogramm, das Wissen und Inferenzverfahren benutzt, um Probleme zu lösen, die immerhin so schwierig sind, daß ihre Lösung ein beträchtliches menschliches Fachwissen erfordert. Das auf diesem Niveau benötigte Wissen in Verbindung mit dem Inferenzverfahren kann als Modell für das Expertenwissen der versiertesten Praktiker des jeweiligen Fachgebietes angesehen werden“ [HK89].

Die von *Savory* [Sav88] oder *Herden* und *Hein* [HH90] genutzten Definitionen für diesen Terminus unterscheiden sich von der oben gegebenen Variante nur unwesentlich.

2.4 Abgrenzung und Aufbau der Arbeit

Aufgrund der mannigfaltigen Themengebiete, die diese Aufgabenstellung unvermeidlicherweise streift, müssen bestimmte Einschränkungen vorgenommen werden.

Obwohl Konstruktionskataloge und die Konstruktionslehre die bekanntesten und meist genutzten Hilfsmittel bei der Schaffung von Neuerungen im Maschinenbau darstellen, werden sie aus dem Rahmen dieser Arbeit ausgeklammert. Dieses liegt nicht nur an der Mächtigkeit und somit der programmiertechnisch problematischen Umsetzbarkeit dieser Methode. Vielmehr setzt der Konstruktionsprozeß mit den Schritten

- planen,
- konzipieren,
- entwerfen und
- ausarbeiten

nach der Schaffung einer Neuerung an [VDI2221]. Die Konstruktionsmethoden enthalten zwar ebenfalls Kataloge mit physikalischen Effekten (unter anderem [Kol85] [PB93]), die aber nicht mit Hilfe eines widerspruchsorientierten Ansatzes genutzt werden.

Da aber die Überwindung eines Widerspruches als Zeichen einer Innovation im Rahmen dieser Arbeit definiert worden ist (siehe Kapitel 2.3.2) und darüber hinaus für den ersten Ansatz zur Bildung eines Gesamtsystems nur die sich ausschließlich auf die Widerspruchsförmulierung orientierten Methoden *ARIS* und *WOIS* betrachtet werden sollten, wurden die Konstruktionsmethoden nicht weiter berücksichtigt.

Ebenso wird die Bionik nicht in das zu entwickelnde Gesamtsystem als eigenständiges Modul aufgenommen. Dieses liegt neben der großen Datenmenge, die eine Programmierung beinahe nicht erlaubt, an der bisher noch schwachen Struktur der gewonnenen bionischen Konstruktionsprinzipien. Ansätze, die zur Zeit von *Nachtigall* [Nac98] an der Universität des Saarlandes erarbeitet werden, lassen aber die mögliche Implementierung dieser gewaltigen Wissenssammlung in greifbare Nähe rücken.

In vielen Veröffentlichungen, die aus dem Bereich der Kreativitätstechniken stammen, wird das innerbetriebliche Vorschlagswesen in die Nähe der Innovationstechniken gebracht [Wag74]. Ebenso gelten in einigen Bereichen Qualitätszirkel und Mitarbeiterunden als innovative Quellen. Zweifelsohne werden in diesen Bereichen Neuerungen geschaffen. Eine Aufnahme in das zu schaffende Gesamtsystem entfällt aber aufgrund der mangelnden Struktur und der fehlenden Erfahrung in diesem Bereich.

Über diese Methoden hinaus gibt es insbesondere im Bereich Maschinenbau andere Vorgehensweisen. An dieser Stelle soll die *FMEA* (Fehler-Möglichkeiten-Einfluß-Analyse) genannt werden. Da das angestrebte Gesamtsystem einen übergreifenden Ansatz verwirklichen soll, ist es wenig sinnvoll, solch spezielle Methoden in einem ersten Entwurf zu berücksichtigen.

Trotzdem wird an einigen Stellen der Arbeit auf die oben genannten Themengebiete verwiesen. Nicht, weil sie konkret eingearbeitet worden sind, sondern vielmehr, um zu zeigen, daß sie in folgenden Arbeiten eingearbeitet werden können, um ein noch leistungsfähigeres Werkzeug zu erstellen.

Die sich mit den oben genannten Einschränkungen ergebende Arbeit ist wie folgt aufgebaut.

Nach den in diesem Kapitel ausgeführten allgemeinen Grundlagen wird im Kapitel 3 auf die systematischen Methoden der Ideengenerierung eingegangen. Zuerst werden die Ideenfindungsmethoden (Kreativitätstechniken) beschrieben und ihre Eignung für die Integration in ein Gesamtsystem geprüft. Die widerspruchsorientierten Methoden folgen im zweiten Teil des Kapitels. Weitere Methoden, die schon im Rahmen der Einschränkungen der Arbeit erwähnt worden sind, schließen das Kapitel ab.

Die Grundlagen der Expertensysteme werden in Kapitel 4 dargestellt. Diese sollen für den Aufbau des Gesamtsystems genutzt werden. Hier wird insbesondere auf die Randbedingungen für den Entwurf des Expertensystems eingegangen. Ein Vergleich zwischen dem Einsatz von Expertensystem-Shells und der eigenen Programmierung schließt das Kapitel ab.

Im Kapitel 5 steht der Aufbau des Gesamtsystems im Vordergrund. Zunächst wird der Stand der Forschung im Bereich der integrierenden Gesamtsysteme betrachtet. In einem zweiten Schritt werden die beiden Bereiche „methodische Ideenfindung“ und „methodisches Erfinden“ für die Wissensakquisition aufbereitet. Ein mathematischer Ansatz zur Lösung von Feld-Stoff-Systemen beendet die Beschreibung des Gesamtsystems.

Im nachfolgenden Kapitel wird auf die konkrete Realisierung eingegangen. Hierbei wird die programmtechnische Umsetzung in den Mittelpunkt gerückt. Beispielhaft soll die Leistungsfähigkeit des erstellten Softwaretools dargestellt werden.

Ein probeweise durchgeführter Einsatz des Programms wird im Kapitel 7 dokumentiert. Hier wird der Nachweis der Wirksamkeit des Gesamtsystems erbracht werden.

Eine Zusammenfassung mit Ausblick auf zukünftig zu bearbeitende Bereiche schließt den Hauptteil dieser Arbeit ab.

Kapitel 3

Systematische Methoden

3.1 Grundlagen der methodischen Ideenfindung

Mit Hilfe der Ideenfindungsmethoden, die in der Literatur und im umgangssprachlichen Gebrauch auch als Kreativitätstechniken bezeichnet werden, kann die Fähigkeit zur Innovation bei richtiger Anwendung deutlich gesteigert werden. Die Methoden sind ein adäquates Mittel, um ausgefallene und unerwartete Ideen beziehungsweise viele alternative Ideen zu erzeugen, die entweder direkt verwertbar sind oder mit Hilfe einer oder mehrerer weiteren Sitzungen perfektioniert werden.

Ein großer Vorteil der Kreativitätstechniken im Vergleich zu den anderen vorgestellten Methoden ist die Anwendbarkeit in beinahe allen Bereichen von Industrie, Handel, Handwerk, freiem Gewerbe und Verwaltung; sie sind losgelöst von jeglichem Fachbezug. Der Ansatz des methodischen Erfindens nach *Altschuller* ist beispielsweise nur für Neuerungen aus dem Bereich Maschinenbau oder nahen Fachgebieten einsetzbar.

Kreativitätstechniken können durch vier merkmalspezifisch verschiedene Ausprägungen unterschieden werden. Diese ergeben sich aus der Kombination der zwei Parameter „generierte Ideenmenge“ (Vielfalt oder Bündelung) und „Vorgehensprinzip“ (systematisch oder intuitiv).

Abweichend zu dieser Darstellungsform wird von *Geschka* eine zweidimensionale Darstellung [Ges86] gewählt, die aber im Gegensatz zu der hier gewählten Form auf der zweiten Achse nicht mit Hilfe der Ideenmenge differenziert, sondern mit dem ideenauslösenden Prinzip. Von *Schlicksupp* wird dagegen eine Aufteilung allein aufgrund der „äußerlichen Abweichung des Verfahrenrahmens“ eingeführt [Sch77].

Insgesamt ergibt sich so das in Tabelle 3.1 gezeigte Bild. Die dort aufgeführten Methoden sind beispielhaft. Es muß an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, daß in der Literatur rund 200 Methoden erwähnt werden. Viele ähneln sich allerdings erheblich. Die Anzahl

der signifikant unterschiedlichen Methoden beläuft sich aber je nach Betrachtungsweise auf 50-70. Wenn man die Anzahl der eigenständigen Methoden noch weiter einschränkt, bleiben nach *Schlicksupp* das Brainstorming, die Synektik und der morphologische Kasten als elementare Grundmethoden übrig; deren Variationen bilden erst die restlichen Methoden [Sch77]. Die Bionik wird von *Schlicksupp* bei dieser Betrachtung nicht eingeschlossen.

	Ideenvielfalt	Ideenbündelung
Intuitiv	Klassisches Brainstorming	Klassische Synektik
	Imaginäres Brainstorming	Reizwortanalyse
	Diskussion 66	Visuelle Synektik
	Methode 635	Semantische Intuition
	Brainwriting-Pool	Ideen-Delphi
	Kärtchen-Technik	SIL-Methode
	Metaplan-Technik	TILMAG-Methode
Systematisch	Morphologischer Kasten	Bionik
	Sequentielle Morphologie	
	Attribute-Listing	
	Problemlösungsbaum	

Tabelle 3.1: Klassifizierung und Zuordnung der gebräuchlichsten Kreativitätstechniken

3.1.1 Intuitive Ideenvielfalt

Beispielhaft soll der wichtigste Vertreter dieser Gruppe beschrieben werden - das klassische Brainstorming. Es wurde in den dreißiger Jahren von dem Psychologen *Osborn* entwickelt und baut auf seiner Erkenntnis über ineffektive Sitzungen und Konferenzen auf, bei denen er beobachtete, daß bei langwierigen Diskussionen kaum relevante Lösungen entstanden. Dieses führte *Osborn* unter anderem auf die sogenannten Killerphrasen zurück (siehe dazu Kapitel 5.2.1). Auch sonst kreative Teilnehmer reduzieren in Folge derer die Anzahl ihrer innovativen Beiträge [Sch77].

Um dieses zu verhindern führte *Osborn* Regeln ein, die den Ablauf einer Sitzung vorschreiben. So unterband er unter anderem die Rechte auf kommentierende Anmerkung zu Äußerungen anderer in bestimmten Phasen der Sitzungen. Dadurch sicherte er den gewünschten unkritisch kreativen Verlauf der ersten Sitzungsphasen. Die Bewertung der Ideen verlegte er an das Ende der recht kurzen Sitzungen. Obwohl das klassische Brainstorming zu den ersten Methoden gehört, ist es immer noch im industriellen Einsatz die verbreitetste Variante [GD96].

Dem Brainstorming ist wie allen Methoden aus dem Bereich der intuitiven Ideenvielfalt gemein, daß es sehr viele, aber unstrukturierte Neuerungen hervorbringt. Auf dieser Erkenntnis aufbauend ergibt sich der große Aufwand für die Bewertung der einzelnen Vorschläge und die Auswahl der Ideen, die weiterverfolgt werden sollen. An dieser Stelle sei

darauf verwiesen, daß häufig weitere auf die Situation abgestimmte Kreativitätstechniken (z.B. die klassische Synektik) dieses Problem lösen können.

Altschuller identifiziert als negative Eigenschaft der intuitiven Ideenfindung, daß „der prinzipielle Mangel dieser Methoden darin besteht, daß sie für komplizierte Aufgaben nicht geeignet sind“ [Alt84]. Kernpunkt der Kritik *Altschullers* besteht in dem unsicheren Erreichen oder wenigstens Annähern an die ideale Lösung (siehe Kapitel 3.2.1) bei einer großen Menge an Lösungsvorschlägen, die es zu überprüfen gilt. Zu den Vorteilen der Methoden zur Erhöhung der Suchaktivitäten zählen *Altschuller* zufolge „ihre Einfachheit und allgemeine Zugänglichkeit“ [Alt84].

3.1.2 Intuitive Ideenbündelung

Das bekannteste Beispiel der intuitiven Ideenbündelung ist die klassische Synektik. Sie wurde von *Gordon* erfunden und leitet sich von dem griechischen Begriff *synechein*¹ ab. Grundlegend für die Schaffung dieses Verfahrens war die Erkenntnis, daß sich die meisten natürlich ablaufenden Denkprozesse in die folgenden vier Phasen

- Vorbereitungsphase (intensive Beschäftigung mit dem Problem),
- Inkubationsphase (Entfernung von dem Problem),
- Illuminationsphase (plötzliche Eingebung einer Idee) und
- Verifikationsphase (Ausarbeitung und Überprüfung einer Idee)

untergliedern lassen [Sch85], die zur Zeit *Gordons* von *Poincaré* geprägt worden sind.

Das Bilden von Analogien zur Natur, ein weiterer typischer Schritt der Synektik, soll an dieser Stelle nicht weiter vertieft werden, da seine Anwendungen der Bionik nahe kommt, die schon in anderer Weise in das Gesamtsystem einfließt. Die Konfrontation mit artfremden Ansätzen zur Lösung eines vermeintlich bekannten Problems stellt allerdings ein wesentliches Element der Synektik dar.

Die Translation schon bekannter Lösungsvarianten auf Probleme, die mit diesen Varianten bisher nicht in Verbindung gebracht wurden, stellt eine Stärke dieser Methode dar. Das förmliche Erzwingen einer Lösung durch das eingegrenzte Überlagern von unbekannten Parametern mit bekannten Strukturen bestimmt die bündelnde und verdichtende Eigenschaft dieser Methode. Es wird im Gegensatz zu den Methoden zur Generierung vielfältiger Ideen eine stark begrenzte Anzahl an Ideen erzeugt, die allerdings hinsichtlich

¹synechein [gr] = etwas miteinander verknüpfen, in Verbindung bringen

ihrer Qualitäten in bezug auf die Nähe zur endgültigen Lösung deutlich höher zu bewerten sind. Ebenfalls sinkt die Anzahl der Vorschläge, die außerhalb des Realisierbaren liegen.

3.1.3 Systematische Ideenvielfalt

Die auf den Schweizer Astrophysiker *Zwicky* zurückgehende Methode des morphologischen Kastens kann als die bekannteste und am weitesten verbreitete Methode der systematischen Ideenvielfalt angesehen werden. Der Begriff Morphologie entstammt dem Griechischen und bedeutet „die Lehre vom Gestalten, Bilden und Formen“.

Vor dem Schweizer *Zwicky* entwickelte schon der Grieche *Archimedes* ein ähnliches Verfahren. Auf drei ineinander verschachtelten Scheiben schrieb er die verschiedenen Ausprägungsformen der drei wesentlichen Bestandteile einer Kriegsmaschine. Durch Drehen der einzelnen Scheiben konnte er so alle möglichen Kombinationen erzeugen [Lin93].

Das Verfahren des morphologischen Kastens beruht auf der Kombination von untereinander unabhängigen Parametern eines Objektes. Bei Einführung von untereinander abhängigen Parametern ergeben sich Lösungskombinationen, die sich durch interne Widersprüche ausschließen. Idealerweise wird durch alle Möglichkeiten der Kombination das Gesamtfeld der Lösung für die Aufgabe beschrieben.

Hier zeigt sich die Mächtigkeit des Verfahrens in Kombination mit der Methode *Altschullers*. Die von *Altschuller* vorgegebenen physikalischen Wirkprinzipien, wie aber auch die Vorgaben zur Ermittlung der Prinzipien zur Überwindung des physikalisch-technischen Widerspruches, ermöglichen bei gezielter Aufstellung und Formulierung der Parameter innerhalb des morphologischen Kastens eine Vergrößerung der Anzahl der Ausprägungsgrade für die einzelnen Parameter sowie die Ermittlung für Lösungsansätze für Kombinationen, die anfänglich als nicht realisierbar galten.

Eine Verbesserung des Verfahrens bei äußerst komplexen Sachverhalten läßt sich durch die Nutzung von bildlichen Darstellungen erreichen [Sch80].

Die morphologische Matrix gewinnt die Neuerungen ebenfalls durch vollständige Kombination von Ausprägungsgraden. Hier ist aber die Blickrichtung für den Lösungsansatz eine andere. Es werden bei der morphologischen Matrix alle bekannten Lösungsvarianten in eine mehrdimensionale Matrix eingetragen, und es wird überprüft, welche Lösungen sich für die freien Felder ergeben. Für den von *Altschuller* geprägten Gedanken, eine einmal gefundene Innovation auf möglichst viele ähnliche Anwendungen zu übertragen, wird das Verfahren der morphologischen Matrix auch von *Altschuller* genutzt [Alt84], obwohl *Altschuller* kreative Verfahren ablehnt. Der scheinbare Widerspruch in diesem Punkt bei *Altschuller* läßt sich durch die vorbildliche Systematik der morphologischen Matrix wi-

derlegen. Sie ist im Gegensatz zu den anderen Methoden der Kreativitätstechniken strikt analytisch, zuverlässig und mit eindeutigem Ausgang abarbeitbar.

3.1.4 Systematische Ideenbündelung

Neben der Bionik, die als einziges Verfahren in der Tabelle 3.1 zur systematischen Ideenbündelung aufgeführt ist, können unter bestimmten Umständen auch die Konstruktionskataloge zur systematischen Einengung der mannigfaltig vorhandenen Ideen oder zur erstmaligen Erzeugung gebündelter Ideen eingesetzt werden. Da auf die Nutzung von Konstruktionskatalogen und der Bionik innerhalb des zu erstellenden Gesamtsystems in den Kapitel 3.4 eingegangen wird, soll an dieser Stelle nur erwähnt werden, daß diese Methoden üblicherweise nicht im Rahmen von Kreativitätstechniken genutzt werden. Vielmehr werden sie zur direkten Erzeugung von entwicklungstechnischen Fortschritten in Entwicklungsabteilungen eingesetzt.

Der Gedanke, die Bionik nicht nur als Kreativitätstechnik, sondern auch für das Training der persönlichen Kreativität zu nutzen, wird von *Nachtigall* weiter ausgeführt [Nac98].

3.1.5 Abschließende Betrachtung

Bei der Erzeugung wirklich neuer Ideen für ein gegebenes Problem ist es wichtig, den Trägheitsvektor der beteiligten Personen zu verlassen. Unter dem Begriff des Trägheitsvektors (siehe auch Abbildung 3.1), der von *Altschuller* geprägt worden ist, wird die gewohnte Denkrichtung verstanden, die jedem Individuum eigen ist. Sie entsteht durch Einflüsse wie der Erziehung, der Ausbildung und der Thematik, mit der sich das Individuum bei der täglichen Arbeit beschäftigt. Aus diesem Grund ist es vorteilhaft, wenn eine Gruppe interdisziplinär zusammengestellt wird. In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß viele entscheidende Neuerungen von fachfremden Wissenschaftlern hervorgebracht werden [Alt84].

Eine Loslösung von dem Trägheitsvektor wird durch störende Einflüsse während der Kreativitätssitzung unterbunden. Hierzu wird in der Literatur neben den als Killerphrasen bekannten Aussagen wie „das haben wir noch nie gemacht“, „das können wir nicht“ oder „das klappt doch nicht“ auch die Anwesenheit eines zu dominanten Vorgesetzten oder eingeschüchterter Untergebener gezählt. Für diese Fälle können Methoden gewählt werden, die wortlos und/oder anonym ablaufen (z.B.: Methode 635).

Insgesamt stellt die methodische Ideenfindung ein wirkungsvolles Instrument dar. Häufig wird es aber falsch eingesetzt, so daß der Erfolg gesenkt wird. Dieses führt dann zu einem nachlassenden Interesse an diesen Verfahren und letztendlich zu einem sinkenden Inno-

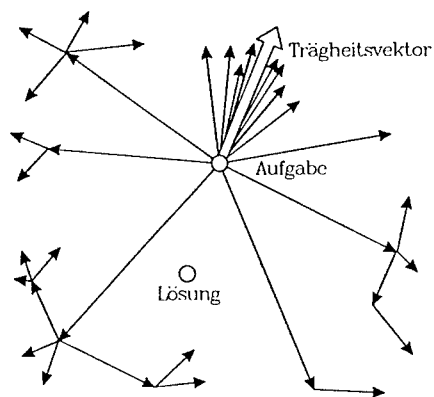


Abbildung 3.1: Trägheitsvektor beim innovativen Prozeß [Alt73]

vationspotential. In einer Studie [GD96] der Technischen Universität Darmstadt wurde darüber hinaus festgestellt, daß ein Zusammenhang zwischen dem Einsatz von Kreativitätstechniken und dem betriebswirtschaftlich zu beschreibenden Unternehmenserfolg besteht. Die Untersuchung zeigte, daß die Unternehmen, die

- häufiger, regelmäßiger und formalisierter Kreativitätstechniken einsetzen,
- auch anspruchsvolle Ideenfindungsmethoden nutzen und
- bei der Zusammensetzung der Sitzungsgruppen auf Hierarchiefreiheit und Heterogenität achten

zu den erfolgreichsten Innovationsunternehmen zählen. Weiterhin verweisen Unternehmen, die schon längerfristig die Methoden der Ideenfindung regelgerecht anwenden auf folgende Vorteile sowohl für die Unternehmung als auch für die einzelnen Mitarbeiter [GRD92]:

- Steigerung der persönlichen Kreativität,
- Verbesserung des Kommunikations- und Kooperationsverhaltens,
- Erhöhung der Integration innerhalb der Gruppen und
- größere Bereitschaft auch über vermeintlich ungewöhnliche Alternativen nachzudenken.

3.2 Der Ansatz des methodischen Erfindens nach Altschuller

Ein Grundgedanke des Ansatzes des methodischen Erfindens nach *Altschuller* bildet die Erkenntnis, daß in dem gesamten weltweiten Patentbestand eine große Fülle an Informationen enthalten ist. Dieses Wissen kann auf verschiedene Weise aufbereitet werden. Wichtig ist es allerdings, die beinahe unbegrenzten Informationen auf geeignete Weise zu verdichten und trotzdem einen möglichst hohen und universellen Informationsgehalt zu erzielen.

Ein weiterer Grundgedanke war die Idee, das Anfangssuchfeld für eine Neuerung so weit wie möglich einzuschränken. *Altschuller* wollte die Anzahl der Versuche, die zum Testen und Prüfen der vermeintlichen Lösung benötigt werden, minimieren und nicht wie bei den meisten Methoden der Ideenfindung maximieren [RT93]. Dieser Gedanke wird auch von *Brockhoff* [Bro93] unterstützt, der fordert, daß neues Wissen „planmäßig, systematisch (und) methodisch gewonnen werden“ muß. *Brockhoff* stellt darüber hinaus die These auf, daß „ziellooses Herumprobieren oder reine Zufallsentdeckungen“ ausgeschlossen werden müssen.

Nach mehreren Ansätzen entwickelte *Altschuller* einen Gesamtablauf für die Lösung technischer Erfindungsaufgaben, der auf dem Algorithmus *ARIS* aufbaut und neben verschiedenen Tabellen und Umformungsregeln weitere Hilfsmittel nutzt, die unter anderem tabellarisch in Kapitel 3.2.3 aufgelistet sind. Diese Hilfsmittel sind im einzelnen:

- der Algorithmus *ARIS* mit der dazugehörigen Theorie *TRIS*,
- die 40 Verfahrensprinzipien (Tabelle 3.3),
- die Anwendung der elementaren Prinzipien zur Überwindung technischer Widersprüche (Abbildung 3.3),
- die Anwendung physikalischer Effekte für Erfindungsaufgaben,
- das Stoff-Feld-System (siehe Abbildung 3.2) mit 18 Umformregeln mit Unterregeln,
- der *AKZ*-Operator (Anzahl, Kosten, Zeit),
- das ideale Endresultat (*IER*) (siehe Kapitel 3.2.1),
- der Wechsel der Systemgrenzen,
- die acht Gesetze zur Entwicklung von Systemen,
- die Lebenslinie von Produkten und

- die zehn Standardlösungen für die häufigsten Erfindungsaufgaben.

Die Verknüpfung einzelner aber nicht aller Komponenten ergibt sich aus dem Algorithmus *ARIS*. Das Verständnis für *Altschullers* Erfindungstheorie soll durch eine kurze Beschreibung der wichtigsten Elemente erleichtert werden.

3.2.1 Definition eines idealen Endresultates

Bei der Entwicklung technischer Produkte wird häufig ein Punkt erreicht, an dem die weitere Verbesserung eines Parameters auf bekannte Weise zur unzulässigen Verschlechterung eines oder mehrerer anderer Parameter führt. An diesem Punkt kann die Lösung nur durch die Überwindung des technisch-physikalischen Widerspruches erreicht werden, der durch die bis dahin benutzte, bekannte Verbesserungsstrategie gegeben ist. Im idealen Fall wird der so erreichte Widerspruch durch ein ideales Endresultat aufgelöst. Nach *Altschuller* existieren folgende drei Varianten [Alt84]:

- Ideale Maschine
Es ist keine Maschine vorhanden, die geforderte Wirkung wird aber erreicht.
- Ideales Verfahren
Kein Zeit- und Energieverbrauch, aber die geforderte Wirkung wird erreicht, und zwar selbsttätig.
- Idealer Stoff
Es ist kein Stoff vorhanden, seine Funktion wird aber erfüllt.

Das ideale Endresultat ist demnach auch für *Altschuller* die Ausgangsgröße für die Bewertung einer Erfindung. So führt das Nichterreichen dieser Anforderung zum Rücksprung innerhalb von *ARIS*. Das Niveau einer Erfindungsaufgabe staffelt *Altschuller* in fünf Ebenen, wobei die erste Ebene noch im Bereich der Entwicklung anzusiedeln ist. Sie werden von *Altschuller* mit Hilfe von zwei Unterscheidungskriterien differenziert. Einerseits dient als Kriterium die Stärke der Veränderung des Objektes durch die Erfindung [Alt84], so wie sie in der mittleren Spalte der Tabelle 3.2 aufgetragen ist. Andererseits nutzt *Altschuller* die Anzahl der Varianten und Versuche, die gebraucht worden wären, um das Problem mit Hilfe von *trial and error* zu lösen [AS84]. Dieser eher hypothetische Wert ist in der rechten Spalte der Tabelle 3.2 aufgeführt.

Für die Erfindung des Bleiakkumulators hat *Edison* beispielsweise 50.000 Versuche benötigt, in denen nicht die rein gedanklichen und verworfenen Varianten enthalten sind [Alt84].

3.2. DER ANSATZ DES METHODISCHEN ERFINDENS NACH ALTSCHULLER 29

Ebene	Änderung des Objektes	Anzahl der Versuche
1	Das Objekt wird nicht verändert. Es wird unter Umständen lediglich ein Parameter verändert.	Einige wenige
2	Das Objekt wird unwesentlich verändert. Es wird beispielsweise ein Element zugefügt.	Dutzende
3	Das Objekt wird stark verändert.	Hunderte
4	Das Objekt wird vollständig verändert.	Tausende bis Zehntausende
5	Das gesamte System, in dem sich das Objekt befindet, ändert sich.	Bis zu einer Millionen

Tabelle 3.2: Niveau und Klassifikation von Erfindungsaufgaben [Alt84]

Die Definition der Ebene beziehungsweise Stärke einer Erfindung wurde von *Altschuller* ebenfalls genutzt, um die weltweit zur Verfügung stehenden Patente, die für die Schaffung des Algorithmus gesichtet wurden, einzuschränken. Lediglich 40.000 (der dritten, vierten und fünften Ebene) von mehreren Millionen Patenten wurden letztendlich bearbeitet und ausgewertet [Alt84].

3.2.2 WePol-Systeme

Ein Schlüsselement in *Altschullers* Theorie nehmen die *WePol*-Systeme² ein. Mit Hilfe von *WePol*-Systemen können technische Systeme modelliert, analysiert und umgeformt werden.

Für die Integration der *WePol*-Systeme in das Gesamtsystem ist eine mathematische Umsetzung der Beschreibung und der Umformung notwendig. Die Umformung wird in Kapitel 5.4 beschrieben. Zuerst sollen an dieser Stelle die Beschreibung und der Aufbau formuliert werden.

Die von *Altschuller* aufgestellte These, daß „das technische Minimalsystem ... unbedingt zwei miteinander in Wechselwirkung stehende Stoffe und ein Feld“ [AS84] enthält, kann weder von *Altschuller* noch von anderer Seite schlüssig bewiesen werden, aber die überwiegende Mehrzahl aller Patente löst den Widerspruch mit Hilfe eines Systems, das diesen Anforderungen genügt. Um die *WePol*-Systeme darstellen zu können, wurde von *Altschuller* eine Symbolsprache entwickelt, mit deren Hilfe alle möglichen Kombinationen ausgedrückt werden können. Da sich das Minimalsystem als Dreieck ergibt, folgert *Altschuller*, daß diesem Dreieck ein Stellenwert zukommt, wie dem Dreieck in der Geometrie. Dort lassen sich bekanntlich alle kantigen Körper in eine endliche Summe an einzelnen Dreiecken überführen. Das Dreieck stellt somit eine Minimalfigur dar.

²WePol [rus] = Gebildet aus den erste Silben von: veščestvo pole (Stoff-Feld)

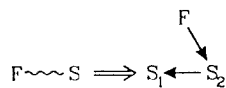


Abbildung 3.2: Ergänzung eines *WePol*-Systems durch Einsatz eines Stoffes zum Minimalsystem (Erläuterung der Symbole siehe Seite xii).

Die Begriffe Stoff und Feld sind im Gegensatz zu ihrer physikalischen Definition deutlich weiter gefaßt. Stoffe können große Gegenstände oder ganze Maschinen darstellen. Ebenso zählen mechanische Kräfte und thermische Strahlungen zu dem Bereich des Feldes.

Neben der Verwendung der *WePol*-Systeme im Rahmen von *ARIS* bietet sich darüber hinaus die Möglichkeit, bei der Analyse eines Ist-Zustandes in einem Innovationsprozeß, die besten Teilungsgrenzen des Systems in Untersysteme zu finden oder den Übergang zu einem Obersystem zu erwägen.

Diese streng formalisierte Darstellungsweise von Erfindungssituationen ohne Fachtermini ist ebenfalls eine Neuerung von *Altschuller*. Nur durch den weitestgehenden Verzicht auf Fachtermini kann der Trägheitsvektor verlassen werden und somit der gesamte Raum an Möglichkeiten, der durch die Wirkprinzipien wie aber auch durch die physikalischen Effekte aufgespannt wird, genutzt werden. Im Gegensatz dazu sind die Konstruktionskataloge eng an dem thematischen Bereich des Maschinenbaus angelehnt und ermöglichen so dem Nutzer nur wenig Spielraum für den Einsatz gänzlich anderer Verfahren.

Die Umwandlung eines einmal mit Hilfe der Symbolik dargestellten *WePol*-Systems zu einem minimalen *WePol*-System oder mehreren minimalen *WePol*-Systemen ermöglichen die 18 Umformregeln mit den dazugehörigen Unterregeln [Alt84]. Ein Beispiel zeigt Abbildung 3.2. Auf die Umformung mit Hilfe eines mathematischen Ansatzes wird in Kapitel 5.4 eingegangen. Die graphische Umsetzung der *WePol*-Umformung als eigenständiges Modul innerhalb des Programms ist in Abbildung 6.5 zu sehen. Die Symbole sind im Symbolverzeichnis auf Seite xii erläutert.

Das so geschaffene Minimalsystem darf darüber hinaus keine schädlichen Wirkungen enthalten. Diese können aber ebenfalls mit Hilfe der Umformregeln beseitigt werden. Ein Beispiel ist in Abbildung 7.2 zu finden.

Der Nutzen der *WePol*-Umformung liegt im Bereich der Systemanalyse. Unter der Annahme, daß *Altschullers* Aussage über die Vollkommenheit minimaler Systeme zutrifft, läßt die Aufstellung eines *WePol*-Systems Erkenntnisse über die Ausgangssituation der Innovation zu. Mit Hilfe der Umformregeln läßt sich danach ermitteln, ob und in welchem Umfang Stoffe und Felder hinzugefügt werden müssen. Ziel der Umformung ist stets das Erreichen eines minimalen Systems.

3.2.3 Der Algorithmus ARIS

Die Intention von *ARIS* ist die Übertragung des Wissens aller Erfinder auf den Nutzer des Algorithmus. Da aber das Wissen dieser Gruppe nicht nur aus tabellarischen Erkenntnissen aus den Bereichen Technik und Physik besteht, ist darüber hinaus ein strukturierter Abarbeitungsrahmen notwendig. Dieser kann nicht aus den Patenten direkt gewonnen werden. Vielmehr entstand er durch die systematische Validierung eines ersten Ansatzes *Altschullers*.

Was verändert sich unzulässig, wenn die Veränderung herbeigeführt wird. Was wird den Bedingungen der Aufgabe entsprechend verändert	1 Masse des beweglichen Objekts	2 Masse des unbeweglichen Objekts	3 Länge des beweglichen Objekts	...	26 Materialmenge	...	39 Produktivität
1 Masse des beweglichen Objekts	...		15,8 29,34	...	3,26 18,31	...	35,3 24,37
2 Masse des unbeweglichen Objekts		...		...	19,6 18,26	...	1,28 15,35
3 Länge des beweglichen Objekts	8,15 29,34		...	...	29,35	...	11,4 28,29
...
26 Materialmenge	35,6 18,31	27,26 18,35	29,14 35,18	...	...	...	13,29 3,27
...
39 Produktivität	35,26 24,37	28,27 15,3	18,4 28,38	...	35,38	...	...

Abbildung 3.3: Anwendung der elementaren Prinzipien zur Überwindung technischer Widersprüche [Alt84] [Her98]

Altschuller validierte das Ablaufschema, indem er versuchte, Erfindungsaufgaben mit *ARIS* zu lösen. Bei dem erfolglosen Einsatz von *ARIS* wurde der Algorithmus derart erweitert, daß alle ähnlichen Fälle daraufhin lösbar waren.

Die wesentliche Erkenntnis aus diesem Prozeß ist, daß der fortlaufenden Aktualisierung des Ablaufschemas von *ARIS* größere Bedeutung zukommen muß als der weiteren Aufbereitung der einzelnen Tabellen. Diesen räumt *Altschuller* eine Nutzbarkeit von mindestens 10 bis 15 Jahren ein [Alt84]. Diese Aussage wird durch die erfolgreiche Nutzung dieser Tabellen innerhalb der widerspruchsorientierten Innovationsstrategie (siehe auch Kapitel 3.3) durch die Bayerischen Motorenwerke 1995 bestätigt [DL95].

Kernpunkt des Algorithmus *ARIS* ist die Formulierung und die Überwindung eines Widerspruchs. Für die Formulierung des Widerspruchs werden, soweit er nicht naheliegend ist, Werkzeuge wie der *AKZ*-Operator eingesetzt. Die Überwindung des Widerspruchs erfolgt dann unter Zuhilfenahme der *WePol*-Umformung und der Tabellen (siehe auch Tabelle 3.3 und Abbildung 3.3).

Für die Entwicklung der Tabelle der elementaren Prinzipien zur Überwindung technischer Widersprüche (siehe Abbildung 3.3) wurden die Patente anhand der enthaltenen technisch-physikalischen Widersprüche sortiert und die Verfahrensprinzipien (siehe Tabelle 3.3) ermittelt, mit denen die Überwindung der Widersprüche ermöglicht wurde.

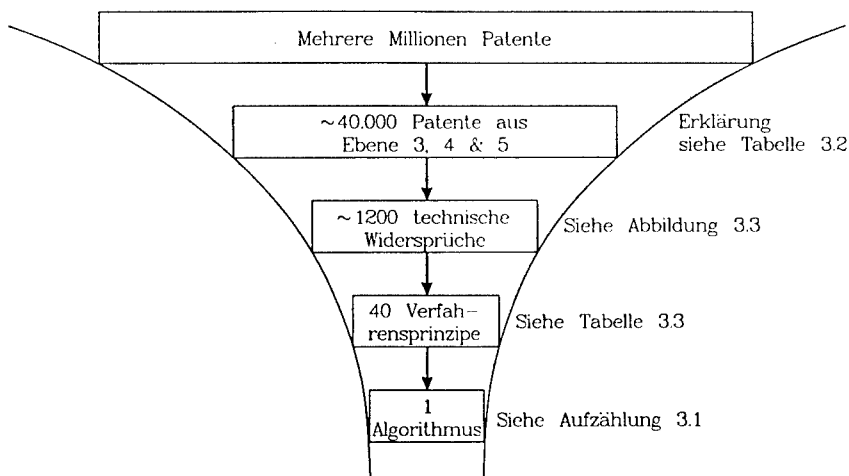


Abbildung 3.4: Informationsverdichtung nach *Altschuller*

Altschuller sortierte in einem weiteren Schritt die einzelnen Verfahrensprinzipien so um, daß zuerst die mächtigsten und erfolgversprechendsten zum Einsatz kommen. Dieser Erkenntnis genügt *Altschuller* durch die Einführung einer Reihenfolge der zu nutzenden Verfahrensprinzipien innerhalb der Widerspruchstabelle.

Diese Tabellen stellen aber nur ein Hilfsmittel dar. Sie ermöglichen nur in wenigen Fällen direkt eine Erfindung, und wenn, dann auf niedriger Ebene.

Die Erweiterung von *ARIS* durch die Aufnahme von 30 physikalischen Effekten und deren Einsatzmöglichkeiten [Alt84] schaffte eine bessere Ausgangslage für die Erreichung des *IER* und damit einer Erfindung höherer Ebene. Auf die Nutzung physikalischer Effekte soll nicht weiter eingegangen werden, da sie nach der formellen Überwindung der Widerspruchsformulierung erfolgt und sie somit nicht mehr direkt Kernelement der Widerspruchsüberwindung ist, sondern in die Ausformulierungsphase eingeordnet werden

3.2. DER ANSATZ DES METHODISCHEN ERFINDENS NACH ALTSCHULLER 33

kann. Die physikalischen Effekte ermöglichen durch ihren Einsatz in vielen Fällen erst die Überwindung des Widerspruches; sie dienen aber nicht der Formulierung.

ARIS kann in Form des folgenden, vereinfachten Ablaufschemas dargestellt werden (verkürzt entnommen aus [Alt84]). Zur Wahrung der Übersichtlichkeit ist die Aufzählung um viele Rück- und Vorsprünge sowie Unterpunkte gekürzt worden.

1. Bestimmen der Aufgabe
 - (a) Endziel der Aufgabe bestimmen
 - (b) Prüfen, ob Umgehungswege bestehen
 - (c) Zwischen Aufgabenstellung und Umgehungsweg entscheiden
 - (d) Prüfen, ob durch direkte Anwendung eines Lösungsstandards eine Lösung möglich ist, wenn ja weiter bei 5a
 - (e) Anwendung des *AKZ*-Operators
2. Aufbau des Modells der Aufgabe
 - (a) Bedingung der Aufgabe ohne Fachtermini aufschreiben
 - (b) Versuchen, das Konfliktpaar der Elemente zu bestimmen, wenn dieses gelingt weiter bei 4b
 - (c) Wechselwirkungen der Elemente suchen und in nützliche und unnützliche aufteilen
 - (d) Technischen Widerspruch des Konfliktpaares ermitteln
3. Analyse des Aufgabenmodells
 - (a) Ermitteln des leichter zu verändernden Elements
 - (b) Formulierung des idealen Endresultates (*IER*) (mit 'selbst')
 - (c) Ermittlung einer Zone, die dem *IER* entgegensteht / Widerspruchsformulierung
4. Überwindung des physikalischen Widerspruches
 - (a) Versuchen, eine einfache Umformung der Zone (Zeit, Raum, Struktur) für die physikalische Wirkung zu ermitteln, wenn dieses gelingt weiter bei 4e
 - (b) *WePol*-Umformung vornehmen
 - (c) Physikalische Effekte und Erscheinungen nutzen
 - (d) Grundlegende Lösungsverfahren nutzen - Verfahrensprinzipien anwenden
 - (e) Übergang von der physikalischen zur technischen Antwort

5. Vorläufige Einschätzung der gewonnenen Lösung

- (a) Wenn die Lösung die Bedingung des *IER* nicht erfüllt, zurück zu 2a
- (b) Überprüfung der Lösung auf Patentfähigkeit
- (c) Zerlegung der technischen Lösung in Teilaufgaben

6. Weiterentwicklung der bis hierhin gewonnenen Lösung

- (a) Bestimmung der Veränderung am Obersystem
- (b) Prüfung, ob das veränderte System auf neue Weise genutzt werden kann (Zusatzfunktion)
- (c) Nutzung der Idee oder der gegenteiligen Idee für andere Bereiche

7. Analyse des Lösungsverlaufes

- (a) Lösungsverlauf mit *ARIS* vergleichen und wenn nötig *ARIS* verbessern
- (b) Tabellen (*WePol*, physikalische Effekte, Verfahren,...) möglicherweise ergänzen

Aufzählung 3.1: Vereinfachtes Ablaufschema für *ARIS* (nach [Alt84])

Die Theorie zu *ARIS* (*TRIS*) bestimmt im eigentlichen Sinne den Rahmen (die Philosophie), in dem der Algorithmus verändert und validiert werden soll [Alt84]. *TRIS* ist demnach keine überspannende Theorie, die den Algorithmus vollkommen beschreibt und alle zukünftigen Lösungen bereits enthält.

Insgesamt stellt *Altshullers* Ansatz eine Verdichtung der gesamten Informationen aller Patente dar. Graphisch läßt sich dieses wie in Abbildung 3.4 darstellen. Alle weiteren Elemente, die von *Altshuller* genutzt werden, sind für die eigentliche Mächtigkeit des Ansatzes eher von untergeordneter Rolle.

Altshuller erläutert den Algorithmus *ARIS* in drei Büchern. Während das Buch *Flügel für Ikarus - über die moderne Technik des Erfindens* [AS84], das in Zusammenarbeit mit *Seljuzki* entstanden ist, als Beispielsammlung verstanden werden kann, die mit einer eher knappen theoretischen Betrachtung untermauert ist, ist das Buch *Erfinden - (k)ein Problem - eine Anleitung für Neuerer und Erfinder* [Alt73] schwerpunktmäßig eine Betrachtung und Erklärung des Algorithmus *ARIS*. Die umfassendste Darstellung der Methode, in der auch alle Tabellen und eine ausreichende Anzahl an Beispielen eingearbeitet worden sind, ist das Buch *Erfinden - Wege zur Lösung technischer Probleme* [Alt84].

3.2. DER ANSATZ DES METHODISCHEN ERFINDENS NACH ALTSCHULLER 35

Nr.:	Prinzip	Nr.:	Prinzip
1	Zerstückelung	21	Schnellster Durchgang (durch Prozeßabschnitte)
2	Gesonderte Behandlung (des Störenden oder einzig Nötigen)	22	Schädliches in Nützlichem verkehren
3	Optimale Bedingungen für Teile (höchste örtliche Qualität)	23	Rückkopplung
4	Asymmetrie	24	Einführung eines Vermittlers
5	Kopplung (von Objekten oder Operationen)	25	Selbstbedienung (der Konstruktion)
6	Mehrwecknutzung	26	Arbeiten mit Modellen
7	Matroschka (Objekt im Inneren eines anderen Objekts)	27	Zum einmaligen Gebrauch (so gut wie nötig)
8	Gegengewicht (durch ein anderes Objekt oder Medium)	28	Ablösung mechanischer Wirkprinzipien (Übergang zu höheren Bewegungsformen)
9	Vorherige Gegenwirkung	29	Pneumatische und hydraulische Effekte (Luft und Wasser als Drucklager)
10	Vorfertigung	30	Elastische Hüllen und dünne Scheiben
11	Vorbeugen (zur Erhöhung der Zuverlässigkeit)	31	Porosität erzeugen und nutzen
12	Äquipotentieller Transport (auf Gerade oder Kreislinie ohne Anheben und Absenken)	32	Farbe und Durchsicht ändern
13	Umkehrung (Vereinbarung des Unvereinbaren)	33	Homogenität (gleichartige und gleichmäßige Zusammensetzung)
14	Sphärische Form (Anpassung an Kreis und Kugel)	34	Ballast abwerfen oder im Arbeitsgang umwandeln und regenerieren
15	Ständige Anpassung (an dynamisch optimale Bedingungen)	35	Aggregatzustände und ihre Übergänge beherrschen
16	Nicht vollständige Lösung (oder überschüssige Einwirkung)	36	Phasenübergänge nutzen
17	Übertragung in eine andere Dimension (von der Linie in Ebene und Raum hinein)	37	Wärmeausdehnung und -verdichtung nutzen
18	Anwendung mechanischer Schwingungen	38	Einsatz stark reagierender Oxydationsmittel
19	Periodische Einwirkung	39	Verwendung eines reaktionsträgen Mediums
20	Kontinuierliche Einwirkung	40	Verwendung heterogener Stoffe

Tabelle 3.3: Die 40 Verfahrensprinzipien ohne Unterverfahren [Alt84] [Her98]

Eine neuere Ausgabe, die sich mit der Methode beschäftigen, ist das von *Herb* geschriebene Buch *TRIZ - der Weg zum konkurrenzlosen Erfolgsprodukt* [Her98]. Die hier gewählte Darstellungsform ist einerseits interessant, aber es fehlen andererseits wesentliche Elemente von *Altshullers* Ansatz.

3.3 Die widerspruchorientierte Innovationsstrategie WOIS

Die widerspruchorientierte Innovationsstrategie von *Linde* und *Hill* baut den Gedanken *Altschullers* aus, mit Hilfe der Überwindung eines Entwicklungswiderspruches neue Produkte zu schaffen; doch die Theorie unterscheidet sich in vielen Bereichen von dem klassischen Ansatz *Altschullers*. Insbesondere werden von *Linde* und *Hill* vier Aspekte genutzt, die über *ARIS* hinausgehen (siehe Tabelle 3.4).

1. Die Formulierung von Oberzielen innerhalb der Orientierungsphase steht an erster Stelle der widerspruchorientierten Innovationsstrategie. Durch diese in mehreren Schritten ablaufende Bestimmung wird das eigentliche Ziel deutlich bestimmt und klar abgegrenzt. Dieses sichert zum einen die Möglichkeit, den Stand und die Qualität der aktuellen *WOIS*-Anwendung zu bestimmen, und ermöglicht zum zweiten, am Abschluß einer Entwicklung festzustellen, ob der gedachte Entwicklungsfortschritt geschafft worden ist.

Insgesamt ist die Orientierungsphase weniger abstrakt als bei *ARIS* aufgebaut. Der Verzicht auf die Nutzung von Umgehungslösungen schränkt dagegen die Wahrscheinlichkeit ein, gänzlich neue Ideen zu gewinnen.

2. Die wohl größte Stärke der *WOIS*-Strategie im Vergleich zum Algorithmus *ARIS* besteht in der Nutzung von Megatrends (siehe Kapitel 3.4) und den daraus abgeleiteten Anregungen für die Gruppe der Entwickler. Hierbei werden nicht nur die direkten technischen Megatrends berücksichtigt, sondern auch die Entwicklungspotentiale aus sozialer Sicht einbezogen [DL95].

Entwicklungstendenzen anderer Gebiete können ebenfalls genutzt werden. Aus den so abgeleiteten Anregungen werden von der Gruppe Führungsgrößen definiert, die das neue Produkt beinhalten soll. Führungsgrößen sind die Größen, die verändert werden müssen, um die Zielgrößen, die das gewünschte Ergebnis technisch beschreiben, zu erreichen. Unter Führungsgrößen werden Größen wie Temperatur, Masse, aber auch weiter gefaßte Begriffe wie Anzahl der Bestandteile oder Form verstanden. Aus diesen teilweise konträren Anforderungen an die Führungsgrößen ergeben sich dann die zu überwindenden Widersprüche.

3. Die Betrachtung und Berücksichtigung der evolutionären Phasen technischer Produkte wird deutlich weiter ausgebaut. Die „Orientierung an Gesetzen der Evolution zur gesicherten Prognose potentieller Entwicklungswege“ [LMN94] wird bei der Auswahl der einzelnen Parameter der Neuerung einbezogen. Dabei wird die Geschichte

des Systems betrachtet, aus der heraus es sich entwickelt hat, um in der Vergangenheit verworfene Lösungsansätze erneut zu überprüfen und sich darüber hinaus an der als wahrscheinlichst anzunehmenden Zukunftsentwicklung zu orientieren. Auf diese Weise entstehen zusätzliche und zukunftsrelevante Denkanstöße für das System.

4. Nach dem Durchbrechen des Widerspruches oder zumindest der Denkbarriere erfolgt zuerst die Suche nach einer Lösung, die unter anderem unter Rückgriff auf die Verfahrensprinzipien *Altschullers* erfolgt. Dieser Teil des Entwicklungsprozesses ist nicht in ähnlicher Stärke und Präzision wie bei *ARIS* ausgeprägt. Aus diesem Grunde ist *WOIS* eher eine starke Entwicklungsmethode als eine Methode zum Erfinden. Die Stufe der konkreten, fertigungstechnisch realisierbaren Umsetzung der Neuerung wird dagegen bei *WOIS* wesentlich effizienter und breiter behandelt.

Eine Überarbeitung der Strategie, wie es bei *ARIS* der Fall ist, ist bei *WOIS* nicht vorgesehen.

Die oben aufgeführten vier Schritte können kurz als künstliche Schaffung einer zukunftsrelevanten Notsituation beschrieben werden, bei deren Lösung dem Entwickler gezielt Unterstützung angeboten wird.

Modellphase	Genutzte Elemente
Orientierung	Oberziele
	Megatrends
	Ist-Stand-Analyse
	Generationsbetrachtung
	Evolutionsgesetze
	Ideales System / Paradoxe Forderung
Widerspruch	Durchbrechen der Entwicklungsbarriere (Leistungsgrenze bekannter Systeme)
Lösungsfindung	Paradoxe Entwicklungsaufgaben
	Bekannte Widerspruchslösungen
	Bekannte Prinzipiellösungen
	Lösungsprinzipien
	Lösungsstandards
	Lösungseffekte
	Lösungsansätze
	Variationen und Kombinationen
	Innovative Lösungen

Tabelle 3.4: *WOIS* -Strategiemodell (nach [LMN94])

Insgesamt zeigt sich, daß *ARIS* mehr ein theoretischer Ansatz für freie Erfinder ist, während *WOIS* ein praxisbezogenes Werkzeug für den Entwicklungsalltag darstellt. *WOIS*

steht demnach als vereinigendes Schnittmengenmodell zwischen *ARIS* und den Konstruktionskatalogen. Die Schnittmenge beinhaltet aber auch den Verlust bestimmter Leistungsfähigkeiten der vereinigten Methoden; einerseits die detaillierte, ingenieurtechnische Ausformulierung, wie sie bei den Konstruktionskatalogen gegeben ist und andererseits die größere Leistungsfähigkeit in bezug auf die Widerspruchsüberwindung, wie sie bei *ARIS* möglich ist.

Ein weiterer Unterschied zwischen dem Ansatz von *Linde* und *Hill* und dem von *Altschuler* besteht in der Notwendigkeit eines Entwicklungsteams bei *WOIS*, während bei *ARIS* mehr der Einzelerfinder im Vordergrund steht. Auch diese Eigenschaft trennt die Bereiche industrielle Entwicklungstätigkeit und freies Erfindertum voneinander ab.

Die fehlende Überarbeitungsphase bei *WOIS* zeigt ebenfalls, daß *WOIS* mehr für den passiven Anwender als für den aktiven und beeinflussenden Anwender entwickelt worden ist.

Abschließend soll erwähnt werden, daß *WOIS* eine unscharfe Methode darstellt. Begriffe, wie sie sonst aus dem Bereich der Fuzzy-Logik bekannt sind, spielen hier eine wichtige Rolle. Weiterhin sind für das gute Funktionieren der Strategie bei der Teamarbeit psychologische Erkenntnisse integriert. All dieses ist bei *ARIS* nicht notwendig, da es sich um eine mehr analytische Herangehensweise an den Innovationsprozeß handelt.

Die widerspruchorientierte Innovationsstrategie wird umfassend in dem Buch *Erfolgreich erfinden - Widerspruchorientierte Innovationsstrategie für Entwickler und Konstrukteure* [Lin93] beschrieben, das *Linde* mit Unterstützung durch *Hill* geschrieben hat. Die durch *Hill* eingebrachten bionischen Aspekte fügen sich allerdings nicht harmonisch in den Gesamtzusammenhang ein. Dieses sorgt insbesondere für Verständnisprobleme, wenn dem Leser der Algorithmus *ARIS* unbekannt ist.

3.4 Weitere Methoden

Für eine bereits genannte Integration in das Gesamtsystem bieten sich in einem ersten Schritt vier Themenbereiche an, auf die in kurzer Form eingegangen werden soll:

- Konstruktionsmethodik / Konstruktionskataloge
- Bionik
- Patentrecherche
- Delphi-Studien / Megatrends

Das Fachgebiet der Konstruktionsmethodik ist schon lange im Maschinenbau etabliert. Auf die Methodik selber soll im weiteren nicht vertiefend eingegangen werden; sie können aber zu einem späteren Zeitpunkt in das Gesamtsystem eingebettet werden. Die bei der Konstruktionsmethodik genutzten Kataloge können dagegen schon früher integriert werden. Deshalb sollen sie kurz betrachtet werden.

Wie schon in Kapitel 3.1.4 erwähnt, werden sie bei den systematisch ideenbündelnden Kreativitätstechniken eingesetzt. Die in Katalogform vorliegenden Konstruktions- und Wirkprinzipien [Rot94], die bei der klassischen Konstruktionstechnik in einer algorithmischen Verknüpfung integriert sind, werden hierbei lediglich als Ideendatenbank genutzt, aus der möglichst gezielt Prinzipien zur Übertragung auf die Aufgabenstellung herausgesucht werden. Der Vorteil besteht in der einfachen Handhabbarkeit.

Die verschiedenen Konstruktionsmethoden und die dazugehörigen Konstruktionskataloge von Roth [Rot93], Pahl-Beitz [PB93], Koller [Kol85], Rodenacker [Rod84] und die VDI-Richtlinie [VDI2221] verfolgen den Ansatz, mehrere Lösungsvarianten durch Kombination unterschiedlicher Lösungsansätze zu generieren. Diesem Schritt wird die Aufspaltung unüberschaubarer Gesamtprobleme in Teilprobleme vorgeschaltet [VDI2221] [Rot93]. Ein Verfahren, das auch von Altschuller in seinem Algorithmus ARIS [Alt84], genutzt wird. Altschuller bezeichnet diesen Vorgang als Übergang zum Untersystem.

Im Gegensatz zu den Konstruktionskatalogen kennt Altschuller aber darüber hinaus den Übergang zum Obersystem. In vielen Fällen ist der physikalisch-technische Widerspruch erst auf dieser Ebene überwindbar. Ebenso kann die WePol-Umformung Altschullers in diesem Zusammenhang gesehen werden. Auch wenn es sich hierbei um die strukturelle Umwandlung von Feld-Stoff Problemen handelt, wird in vielen Situationen ein komplexes Beziehungsgeflecht zwischen diversen Stoffen und Feldern in mehrere Systeme aufgeteilt, die danach erst in ideale und somit minimale WePol-Systeme umgewandelt werden.

Eine Untersuchung über die Denk- und Handlungsweise beim Konstruieren von Pahl lieferte Ergebnisse [Pah99], die sich in Form von Regeln und Fakten in ein Expertensystem integrieren lassen. Hierbei würde sich aber die Realisierung eines eigenständigen Systems anbieten.

Aufgrund des Umfangs und der in Kapitel 2.4 genannten Gründe soll im Rahmen dieser Arbeit aber nicht vertiefend auf die Konstruktionskataloge eingegangen werden.

Neben den bis hierher aufgeführten Konstruktionsmethoden kann die junge Wissenschaft der Bionik teilweise ähnlich integriert werden. So können die konstruktionsmethodischen Erkenntnisse der Bionik auf zwei verschiedene Weisen in den Neuerungsprozeß einfließen. Einerseits ist es möglich, gezielt die Konstruktionsmerkmale biologischer Systeme

me zu nutzen, andererseits bietet es sich an, die Bionik als Anregungsmittel für Kreativitätstechniken einzusetzen (siehe oben).

Funktionsrealisierung unter dem Aspekt der...	Genutztes Prinzip (des/der)...
Gestaltänderung	Strukturdifferenzierung Kegelwuchses Spiralanordnung
optimalen Energienutzung	Fremdenergienutzung Oberflächenvergrößerung Oberflächenverkleinerung Wärmerückgewinnung Wärmespeicherung Klimatisierung
optimalen Flächen- und Volumenänderung	optimalen Volumenbildung optimalen Flächenbildung
zuverlässigen Funktionserfüllung	Redundanz Wiederholbarkeit
optimalen Stoffausnutzung	Schaumstabilisierung Spiralversteifung Verbundstabilität Seilverspannung Einzelementversteifung Profilierung
Eigenschaftsveränderung	Funktionswechsels Funktionserweiterung Funktionsteilung Funktionsverminderung Funktionsintegration

Tabelle 3.5: Beispielhafte Klassifizierung bionischer Konstruktionsprinzipien (nach [Hil93])

Weiterhin sei angemerkt, daß Teile von bionischen Konstruktionsprinzipien schon in *WOIS* zu finden sind. Bei einer getrennten, stärkeren Betrachtung bionischer Prinzipien, wäre allerdings eine separate Integration vorteilhafter.

Bei der Nutzung der Konstruktionsmerkmale im Sinne der Konstruktionskataloge (siehe Tabelle 3.5) ist zu berücksichtigen, daß die Vollständigkeit und die Strukturierung nicht annähernd an den Stand heranreicht, der bei den bekannten, maschinenbautechnischen Konstruktionskatalogen erreicht wird.

Darüber hinaus stellt die Bionik weitere Werkzeuge zur Verfügung. Hierzu gehören die sich immer mehr verbreitenden evolutionstechnischen Algorithmen zur Optimierung unterschiedlichster Systeme [Rec73], die Theorie über die Lebenszyklen von Produkten und Systemen und neue Ansätze für die Festigkeitsberechnung [Fre94]. Da die erst- und letztgenannten Ansätze lediglich die Verbesserung eines bereits bekannten Systems verfolgen,

ermöglichen sie im eigentlichen Sinne keine Neuerungen und werden für das Gesamtsystem nicht weiter berücksichtigt. Die Theorie der Lebenslinie von Produkten findet sich dagegen schon bei *Altschuller* [Alt84] beziehungsweise *Linde* [LMN94] und wird deshalb nicht einzeln betrachtet.

Neben den beiden oben dargestellten Methoden, die eher aus dem konstruierenden Bereich stammen, können auch andere, fachübergreifende Mittel genutzt werden. Bei der Technik der Patentrecherche ist zu berücksichtigen, daß die dort angegebenen Erkenntnisse ebenfalls auf Gebrauchsmuster, Geschmacksmuster und Markenmeldungen übertragbar sind.

Patentrecherchen können auf drei Weisen bei der Schaffung einer Neuerung genutzt werden. Die üblichste erfolgt allerdings erst nach dem eigentlichen Innovationsprozeß. Sie besteht aus der patentrechtlich bedingten Recherche, die klären soll, ob die vermeintlich gefundene technische Neuerung nicht schon besteht und deshalb nicht anmeldbar ist. Aus diesem Grund ist es vor dem Entstehen größerer Kosten für die Ausformulierung und Entwicklung der Neuerung notwendig, eine absichernde Patentrecherche durchzuführen, um so die finanziellen Verluste durch Innovationsprozesse zu minimieren [BMBF96/2].

Ein zweiter Ansatz ist das Suchen nach Patenten in ähnlichen Fachgebieten und der Versuch einer Übertragung auf das eigene Fachgebiet. Unter bestimmten Randbedingungen kann diese Art von Innovation trotzdem noch patentwürdig sein. Ebenso werden von verschiedenen Seiten in unregelmäßigen Abständen erloschene und ungenutzte Patente zusammengetragen und veröffentlicht. Erloschene Patente stellen mit über 90% den Großteil der vorhandenen Patentschriften dar [IDW97]. Sie können zwar nicht mehr im Sinne einer Neuerung genutzt werden, aber es kann auf ihrer Grundlage erstmals ein konkretes Produkt realisiert werden, welches allerdings nicht mehr zum Patent angemeldet werden kann.

Die dritte Variante ist die systematische Verdichtung der Einzelinformationen aus vielen Patenten eines oder mehrerer Fachgebiete. Dieser Weg wurde von *Altschuller* genutzt (siehe Kapitel 3.2). *Altschuller* entwickelte aus den von ihm ausgewerteten Patenten nicht nur die Grundlage seines Algorithmus *ARIS* (siehe Abbildung 3.3 und Tabelle 3.3), sondern fordert von dem Nutzer, „eine persönliche Kartei zu führen, in der er Informationen über neue Verfahren, ... besonders gelungene ... technische Lösungen“ sammelt [Alt84].

Abschließend sollen die *Delphi*-Studien und die so gewonnenen Megatrends betrachtet werden. Sie stellen ebenso wie die oben vorgestellten Recherchen in Patenten, Gebrauchsmustern, Geschmacksmustern und Markenmeldungen ein fachgebietsübergreifendes Mittel für den Neuerungsprozeß dar.

Das zur Zeit „bestmögliche methodische Instrumentarium zu einer übergreifenden, langfristigen Technikvorschau“ stellen nach Angaben des *Bundesministeriums für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie* die *Delphi*-Untersuchungen dar [BMBF96/3]. In Japan werden im Gegensatz zu Deutschland, wo 1995 die erste Studie als *Mini-Delphi* durchgeführt wurde, *Delphi*-Studien schon seit 25 Jahren mit Erfolg eingesetzt [BMBF96/3].

Die durch *Delphi*-Studien gewonnenen Ergebnisse können zur Bewertung von Entwicklungsrichtungen für viele Fachgebiete genutzt werden. Diese zeigen dem Erfinder und Entwickler allgemein die Richtung an, in der sich ein neues Produkt von dem alten unterscheiden soll. Ebenfalls kann man daran erkennen, in welchen Fachgebieten überhaupt Innovationsspielraum gesehen wird. So können bereits existierende Produkte an die neuen, sich noch entwickelnden Märkte und Strukturen angepaßt werden und so der wirtschaftliche Erfolg der Unternehmung von Schwankungen einzelner Bereiche und Absatzmärkte entkoppelt werden.

Für den einzelnen Nutzer ist die Erstellung einer eigenen *Delphi*-Studie beinahe nicht möglich. Der Zeit- und Personalaufwand für die Durchführung ist unvergleichlich hoch. Da aber *Delphi*-Studien allgemeingültige und übergreifende Aussagen liefern, kann jeder Nutzer auf die Ergebnisse von Studien Dritter zurückgreifen. Die Informationen, die in einer einzigen *Delphi*-Studie vereint sind, sind aber meistens zu mächtig und allgemein, als daß sie direkt eingesetzt und in die Erfindungssituation übernommen werden können. Dieser Mangel kann durch die Erzeugung von Megatrends aus den Ergebnissen der *Delphi*-Studie behoben werden. Dieses immer noch recht aufwendige Verfahren rechtfertigt sich aber durch die sehr langfristige Gültigkeit solcher Megatrends.

Megatrends entstehen durch die Übertragung der allgemeinen Aussage der gesamten *Delphi*-Studie auf Richtungsänderungen und Entwicklungstendenzen des eigenen Fachgebietes und der Gebiete, auf die das eigene Fachgebiet einwirkt oder die das eigene Fachgebiet beeinflussen. Megatrends sind für den Bereich Maschinenbau unter anderem [DL95]:

- steigender Komfortbedarf,
- sinkender körperlicher Arbeitsaufwand,
- steigende Stoffausnutzung,
- sinkender Raumbedarf,
- steigende Selbstorganisation und
- steigendes Werterhaltungsbewußtsein.

Diese Megatrends, die für fast alle Entwicklungsbereiche im technischen Sektor wie aber auch für das Management und das Marketing eingesetzt werden [LMN94], können entweder als Reizwörter für Kreativitätstechniken dienen oder systematisch genutzt werden, wie dieses unter anderem bei *WOIS* realisiert wird.

Neben der direkten Nutzung von vorgegebenen Trends empfiehlt *Becker* die Suche in Patentdatenbanken, Bibliotheken und die Nutzung der vom *Fraunhofer Institut* entwickelten Methode zum Vergleich internationaler Standards [Bec88].

Kapitel 4

Grundzüge der Expertensysteme

Expertensysteme gehören zu dem Fachgebiet der künstlichen Intelligenz (KI). Neben Expertensystemen sind im computerbezogenen Bereich die Fuzzy-Logik und das neuronale Netz angesiedelt. Neben dem isolierten Einsatz eines dieser drei Systeme besteht die Möglichkeit der Kombination zweier oder aller drei Systeme [Nau96]. Folgende Einsatzgebiete können den drei Systemen zugeordnet werden:

- Fuzzy-Logik
 - Regelungstechnik
 - Sensorik
 - Datenanalyse
 - Klassifikation
- Neuronale Netze
 - Muster-, Zeichen-, und Geräuscherkennung
 - Qualitätskontrolle
 - Klassifikation
- Expertensystem
 - Diagnosesystem
 - Beratungssystem
 - Intelligente Checkliste

Bei dem hier verwendeten Expertensystem handelt es sich aufgrund der Ausgangssituation und dem gewünschten Ergebnis eindeutig um ein Beratungssystem. Der Aufbau eines Expertensystems läßt sich anhand der Abbildung 4.1 zeigen.

Das Wissen wird von dem Experten mit Unterstützung durch die Wissenerwerbskomponente in das bereichsspezifische Expertenwissen eingegeben. Wenn dieser als Wissensakquisition (siehe Kapitel 4.4) bezeichnete Teil abgeschlossen ist, kann das Expertensystem vom Nutzer bedient werden. Dem Benutzer werden von der Interviewerkomponente Fragen gestellt, die auch ohne Expertenwissen beantwortbar sind. Die so gewonnenen Antworten werden im fallspezifischen Faktenwissen gespeichert. Die Problemlösungskomponente (Inferenzmaschine) ermittelt dann aus dem bereichsspezifischen Expertenwissen, dem fallspezifischen Faktenwissen und den Zwischenergebnissen die nächste Frage beziehungsweise eine Antwort (Konklusion) auf das gestellte Problem.

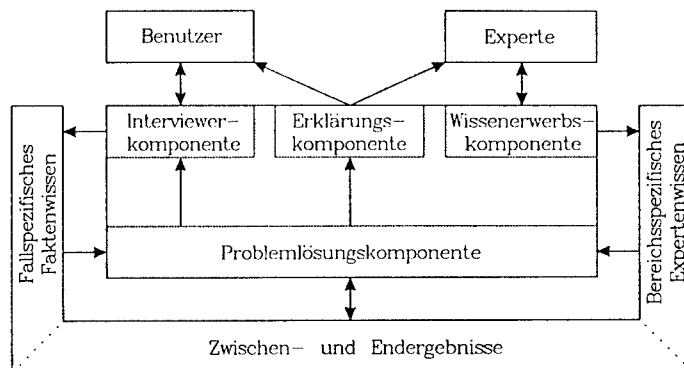


Abbildung 4.1: Prinzipieller Aufbau eines Expertensystems [Pup87]

Hat der Nutzer Verständnisprobleme mit den vom Programm gestellten Fragen oder benötigt er Unterstützung bei der Beantwortung, so stellt ihm die Erklärungskomponente Hilfen zur Verfügung. Idealerweise sollte die Erleichterung für den Benutzer durch ein Expertensystem äquivalent zu der Anwesenheit eines menschlichen Experten sein.

4.1 Wissensrepräsentation

Die Speicherung (Wissensrepräsentation) des Wissens im bereichsspezifischen Expertenwissen kann auf verschiedene Weisen erfolgen. Die Art der Wissensrepräsentation ist für die spätere Abarbeitung durch die Inferenzmaschine entscheidend. Die Grundlage für die Wahl einer Repräsentationstechnik bilden schwerpunktmäßig die Art, der Umfang und die Strukturierung des zur Verfügung stehenden Wissens. Die Techniken können alleine oder als Mischformen (Hybridsysteme) eingesetzt werden, wobei Hybridsysteme die häufigere Variante darstellen [Wil90]. Folgende fünf Techniken werden für die Wissensrepräsentation genutzt:

- Semantische Netze
- Prädikatenlogik
- Objekt-Attribut-Wert-Tripel
- Objekte und Frames
- Produktionsregeln

Für die Integration der verschiedenen Methoden der Ideenfindung und des Erfindens bietet die Wissensrepräsentation durch Produktionsregeln die meisten Vorteile, so daß sie hier eingesetzt wurde. Neben der übersichtlichen Darstellung des Wissens und der Möglichkeit, auf einfache Weise Hierarchien und Strukturen innerhalb der Wissensbasis aufzubauen, ist die Wartung des bereichsspezifischen Expertenwissens bei dieser Methode übersichtlicher als bei den anderen.

Da für die Entscheidungsfindung bei dem hier gegebenen Problem nicht immer sicheres Wissen zur Verfügung steht, sondern häufig auch vages Wissen (siehe Abbildung 4.2) verarbeitet werden muß, kann in dieser Hinsicht eine hybride Anpassung mit Hilfe der Objekt-Attribut-Wert-Tripel-Technik mit Werten in dem Intervall $[0, 1]$ erfolgen. Dieser Ansatz wurde bei dem vorliegenden System genutzt, so daß das Wissen mit Hilfe einer hybriden Anpassung der Produktionsregeln mit Objekt-Attribut-Wert-Tripeln repräsentiert wurde.

Andere Systeme wie zum Beispiel *EMYCIN* benutzen das Intervall $[-1, 1]$ für die Bearbeitung von vagen Aussagen.

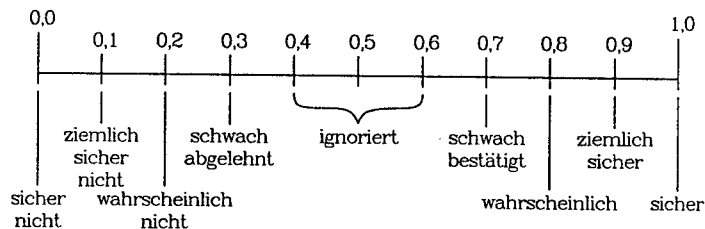


Abbildung 4.2: Darstellung von vagem Wissen im Intervall von 0 bis 1 [nach HK89, dort allerdings im Intervall von -1 bis 1 dargestellt]

Beispielhaft kann eine so gewonnene Produktionsregel aussehen wie es in Gleichung 4.1 gezeigt ist. Die Werte von A , B und C können dabei unabhängig voneinander sicheres oder vages Wissen (Fakten) darstellen.

$$A \wedge B \rightarrow C \quad (4.1)$$

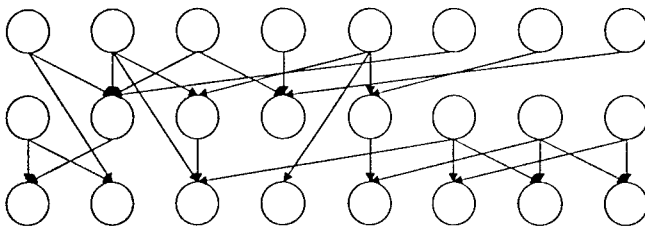


Abbildung 4.3: Globaler Regelbaum für Vorwärtsverknüpfung bei Breitensuche

Für die Bildung von Produktionsregeln stehen die Operatoren

- 'und' (Konjunktion)
- 'oder' (Disjunktion)
- 'nicht' (Negation)
- 'es folgt' (Subjunktion)
- Klammerausdrücke

zur Verfügung. Sie können im Rahmen der mathematischen Logik beliebig miteinander und untereinander kombiniert und verschachtelt werden. Dieses ist beispielhaft in Abbildung 4.3 dargestellt. Bei der Verwendung von vagem Wissen gibt es mehrere Ansätze zur Auswertung innerhalb von Regelstrukturen. Für das entwickelte Expertensystem wurde der Ansatz mit Hilfe von Konfidenzfaktoren c_f mit Werten aus dem Bereich $[0, 1]$ gewählt. Somit ergeben sich folgende Ausdrücke:

- Konjunktion:

$$A \wedge B \rightarrow C \quad (4.2)$$

$$\Rightarrow c_f(C) = c_f(A) \cdot c_f(B) \quad (4.3)$$

- Disjunktion:

$$A \vee B \rightarrow C \quad (4.4)$$

$$\Rightarrow c_f(C) = c_f(A) + c_f(B) - (c_f(A) \cdot c_f(B)) \quad (4.5)$$

- Negation:

$$\bar{A} \rightarrow C \quad (4.6)$$

$$\Rightarrow c_f(C) = 1 - c_f(A) \quad (4.7)$$

Die Einschränkungen auf die Nutzung von Regeln in der in Gleichung 4.3 bis 4.7 gezeigten Art ist für einen komfortablen und zeitsparenden Aufbau einer Wissensbasis nachteilig. Erst das freie Aufstellen von Regeln in äquivalenter Form zur sprachlichen Formulierung des Experten ermöglicht eine optimierte Umsetzung des menschlichen Wissens in die syntaktisch vorgegebene Ausdrucksweise der Wissensbasis.

Für einige Bereiche des aufzubauenden Expertensystems werden Regeln benötigt, die eine große Anzahl an Prämissen benötigen. Diese sogenannten großen Regeln (Globalregeln) sind vorteilhaft für die Stufe der Wissensakquisition, aber bergen große Nachteile bei dem Bearbeiten durch die Inferenzmaschine in sich. Ebenso sind diese Globalregeln für die Validierung zur Laufzeit des Expertensystems (siehe Kapitel 4.1) ungeeignet.

Als Lösungsansatz wurde die Umwandlung der Globalregeln in mehrere kleine Regelausdrücke (Minimalregeln) erarbeitet. Minimalregeln sind in diesem Zusammenhang wie folgt definiert:

- es gibt genau zwei Prämissen,
- es wird genau eine Konklusion gezogen,
- die beiden Prämissen sind mit Konjunktion oder Disjunktion verbunden und
- Negationen sind erlaubt.

Für die formell richtige Umwandlung einer Globalregel in eine endliche Anzahl von Minimalregeln gelten diese Umformungsregeln:

- „und“-Verknüpfungen sind höherwertiger als „oder“-Verknüpfungen,
- Klammerausdrücke haben eine höhere Priorität als „und“- beziehungsweise „oder“-Verknüpfungen und
- Negationen werden zuletzt zugeordnet

Die durch die Konvertierung zusätzlich entstehenden Regeln werden als Hilfsregeln H_n bezeichnet. Beispielhaft soll die Regel

$$\overline{(A \vee B)} \wedge (C \vee \overline{D} \wedge E) \rightarrow F \quad (4.8)$$

zerlegt werden (siehe Abbildung 4.4). Die Darstellungsform, in der die Ebene der Konklusion über der Ebene der Ausgangsfakten steht, wird in Hinblick auf die Abarbeitungsform

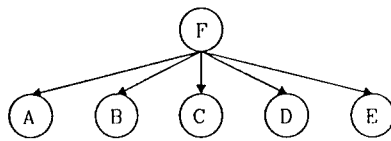


Abbildung 4.4: Globaler Regelbaum

der Inferenzmaschine gewählt. Diese versucht die Konklusion F zu schließen, indem sie auf schon vorhandenes Wissen aus dem fallspezifischen Faktenwissen zurückgreift.

Durch den hier verwendeten Algorithmus ergibt sich die Umwandlung der Ausgangsgleichung in drei Schritten zu:

$$\overline{H_1} \wedge (C \vee \overline{D} \wedge E) \rightarrow F \quad \text{mit: } A \vee B \rightarrow H_1 \quad (4.9)$$

$$\overline{H_1} \wedge (C \vee H_2) \rightarrow F \quad \text{mit: } \overline{D} \wedge E \rightarrow H_2 \quad (4.10)$$

$$\overline{H_1} \wedge H_3 \rightarrow F \quad \text{mit: } C \vee H_2 \rightarrow H_3 \quad (4.11)$$

Insgesamt entstehen in diesem Beispiel aus einer Globalregel vier Minimalregeln, die nicht in einer, sondern in mehreren Ebenen abgearbeitet werden (siehe Abbildung 4.5). Des weiteren werden drei neue Fakten (Hilfsfakten) (H_1 , H_2 und H_3) generiert.

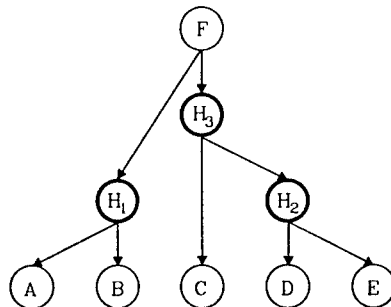


Abbildung 4.5: Minimaler Regelbaum

Dem für diese Konvertierung genutzten Algorithmus ist eigen, daß die Prämissen wie bei der zu zerlegenden Globalregel in der obersten Ebene stehen und die Konklusion in der untersten. In den Ebenen dazwischen, deren Anzahl von der Verschachtelungstiefe der Globalregel abhängt, befinden sich lediglich Hilfsfakten.

Die Inferenzmaschine läßt sich programmtechnisch weiter in der Geschwindigkeit steigern, wenn neben der Tatsache, daß nur Minimalregeln verwendet werden, sichergestellt

ist, daß sich die Konklusionen der einzelnen Ebenen immer aus Prämissen der direkt darüberliegenden Ebenen ergeben. Dieses trifft in dem hier dargestellten Fall für die Regel $C \vee H_2 \rightarrow H_3$ und die Regel $\overline{H_1} \wedge H_3 \rightarrow F$ nicht zu. Lösbar wird diese Forderung nach Eindeutigkeit der Ebenenzugehörigkeit durch Einführen von Binderegeln, die den Informationsgehalt eines Faktes eine Ebene weiter nach unten übertragen. Somit ergibt sich hier die Einführung der Bindefakten B_1 und B_2 (siehe Abbildung 4.6).

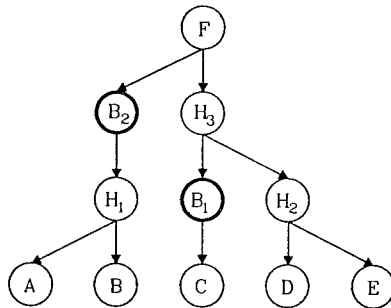


Abbildung 4.6: Minimale Regel mit strengem Ebenenbezug

Hinter diesen Bindefakten stehen ebenfalls Regeln. Sie ergeben sich zu

$$C \rightarrow B_1 \quad (4.12)$$

und

$$H_1 \rightarrow B_2. \quad (4.13)$$

Diese Binderegeln entsprechen nicht den Anforderungen an die Minimalregeln, da sie keine zwei Prämissen beinhalten. Trotzdem können sie aber in Form einer Variante der Minimalregeln mit einfachen Mitteln in die Inferenzmaschine integriert werden. Insgesamt ergibt sich trotz der Steigerung der Regelanzahl eine verbesserte Laufzeit im Vergleich zu der sonst notwendigen Inferenzmaschine, die einen ebenenübergreifenden Zugriff auf Prämissen ermöglichen würde. Der zusätzliche Rechenspeicher (RAM), der für die Binderegeln benötigt wird, ist vernachlässigbar klein.

Ein weiterer Vorteil, der sich durch die Einführung von Bindefakten ergibt, ist die bessere Möglichkeit der graphischen Darstellung zur Laufzeit des Expertensystems und die damit verbundene bessere Validierbarkeit.

Das bis zu dieser Stelle vorgestellte Umwandlungsverfahren kann im Ansatz mit einem Compiler verglichen werden. Die globalen und verschachtelten Regeln der Ausgangssituation werden bei der Konvertierung in eine einfache, aber große Struktur von wenigen

logischen Ausdrücken überführt, die dadurch besser und schneller ausführbar sind. Im Gegensatz dazu steht die Möglichkeit, einen Ansatz zu wählen, der einem Interpreter nahe kommt. Da es aber einfacher ist, einmalig auf einem leistungsstarken Rechnersystem den Regelbaum aus Globalregeln umzuwandeln und danach leistungsärmere Computer für den Expertensystemnutzer einsetzen zu können, als bei jedem Aufruf des Expertensystems erneut die aufwendigen Globalregeln logisch korrekt umwandeln zu müssen und so an vielen Stellen hochwertige Rechner einzusetzen, wurde dieser Ansatz gewählt.

In der Entwicklungsphase der Wissensbasis kristallisierte sich heraus, daß ein geeigneter Ansatz zur Erzeugung und Verwaltung der Wissensbasis benötigt wird. Dieses wird in Expertensystem-Shells mit Hilfe einer Wissensakquisitionskomponente realisiert. Diese erzeugt bei den meisten Shells die Wissensbasis durch Eingabe in Datenmasken. Da das hier programmierte System unter der Bedienoberfläche der Firma *MICROSOFT* entstehen sollte (siehe Kapitel 6), wurde ein graphisch orientierter Ansatz gewählt. Dieser erlaubt dem Wissensingenieur die Erzeugung und Bearbeitung von Regeln und Fakten anhand des visuell erzeugten Abbildes der Regel-/Fakten Verknüpfung. Ein beispielhafter Entwurf ist in Abbildung 6.2 zu sehen.

Die Vorteile von graphisch orientierten Oberflächen bei dem Entwurf von Wissensbasen wird von *Gappa* erörtert [Gap95]. *Gappa* bestätigt ebenfalls als großen Vorteil der graphischen Orientierung die einfache Pflege der Wissensbasen.

4.2 Inferenzmaschine

Ein Expertensystem bearbeitet die Regelbäume mit Hilfe der Inferenzmaschine. Sie folgert aus den eingegebenen Daten Schlüsse und aktualisiert das fallspezifische Wissen.

Das Verhalten der Inferenzmaschine wird durch die Suchstrategie, die Schlußfolgerungsmethode und die Metaregel bestimmt. Auf diese drei Größen soll im weiteren eingegangen werden.

Die Regelbäume können mit Hilfe der Suchstrategie auf vier verschiedene Arten abgearbeitet werden (siehe Abbildung 4.7). Einerseits ist die Art der Verkettung (vorwärts oder rückwärts) ausschlaggebend, andererseits die Suchstrategie. Hier ist zu entscheiden, ob die Suche nach Ergebnissen (Konklusionen) möglichst schnell erfolgen soll (Tiefensuche) oder das Problem ebenenweise abgearbeitet werden soll (Breitensuche). Die Vorwärtsverkettung beginnt, wie in Abbildung 4.7 dargestellt, bei einem vorgegebenen Anfangspunkt und geht in Richtung der Endzustände durch. Die zu Beginn nicht vorhandenen Informationen werden schrittweise konstruiert, was diese Verkettung für Planungs- und Beratungssysteme auszeichnet. Bei der Rückwärtsverkettung dagegen wird ausge-

hend von einem angenommenen Endzustand der Suchraum in Richtung der obersten Ebene durchschritten, so daß dieses Verfahren insbesondere für das Auffinden von Gründen von Zustandsänderungen geeignet ist. Aus diesem Grund findet es bei Diagnosesystemen Anwendung.

Für Beratungssysteme wird üblicherweise die Vorwärtsverkettung gewählt, die gewöhnlich nur in Verbindung mit der Breitensuche ihre Anwendung findet [HK89]. Das hier verwendete bereichsspezifische Expertenwissen ist ebenfalls für die Abarbeitung mit Hilfe der Vorwärtsverknüpfung mit Breitensuche ausgelegt.

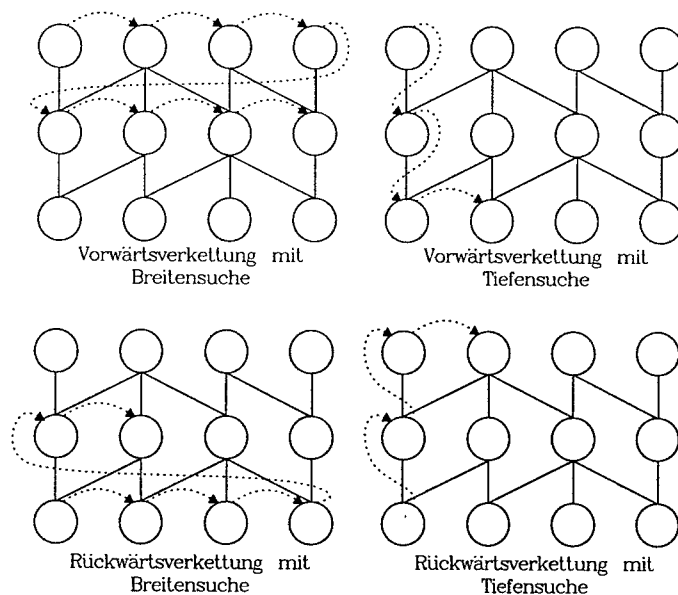


Abbildung 4.7: Suchstrategien bei Expertensystemen (nach [HK89])

Für die Auswertung von Regeln stehen zwei Schlußfolgerungsmethoden zur Verfügung:

- **modus ponens¹**
Bei der Regel $A \rightarrow B$ wird, wenn A erfüllt ist, die Konklusion B gefolgert.
- **modus tollens²**
Über der Folgerung des modus ponens hinaus schließt der modus tollens bei Nichterfüllung von B auf die Nichterfüllung von A .

¹ponere [lat] = setzen, stellen, legen

²tollere [lat] = dulden, akzeptieren

Die üblichste Schlußfolgerungsmethode stellt der *modus ponens* dar [HK89]. Der *modus ponens* ermöglicht im Gegensatz zum *modus tollens* auf sicherere Weise den Aufbau stabiler Wissensbasen. Darüber hinaus ist der *modus ponens* bei der Nutzung von Produktionsregeln für die Wissensrepräsentation vorteilhafter.

Der *modus ponens* hat sich als die üblichere Methode zur Folgerung von Schlüssen durchgesetzt. Durch ihn werden zwar nicht alle möglichen Schlüsse gefolgert, aber neben der besseren Gewährleistung einer konsistenten Wissensbasis ist der Aufbau der Erklärungskomponente einfacher.

Schlußfolgerungen können, wenn sie einmal gezogen worden sind, als unumstößlich gelten und somit nicht wieder verändert werden. Dieses Verhalten bezeichnet man als monotonen Schließen. Flexibler ist allerdings die Einführung des nicht monotonen Schließens, das auch als Rücksprung in dem fallspezifischen Faktenwissen bezeichnet wird. Im vorliegenden System sind in bestimmten Bereichen der Wissensbasis nicht monotone Schlußfolgerungen zugelassen.

Abschließend sei angemerkt, daß die Wahl des Inferenzprozesses weniger entscheidend ist als die Mächtigkeit des in der Wissensbasis integrierten Wissens [Sav88].

Sollten bei der Abarbeitung der Regeln gleichwertige Regeln vorliegen, ist eine zusätzliche Auswahlstrategie (Metaregel) für die Beibehaltung der Eindeutigkeit notwendig. Hier können verschiedene Verfahren genutzt werden.

Beispielhaft sind hier die wichtigsten Auswahlkriterien genannt [Neb89]:

- recency
Aktualität - es werden zuerst solche Regeln genutzt, deren Prämissen neuesten Datums sind.
- refractoriness
Widerstandsfähigkeit - Regeln, die auf Prämissen zurückgreifen, die schon genutzt wurden, werden nicht weiter verfolgt.
- specificity
Spezifität - die Regel mit den meisten Prämissen wird bevorzugt, da angenommen wird, daß die Anzahl der Prämissen die Zuverlässigkeit des Ergebnisses beeinflußt.

Für das hier entwickelte Expertensystem ist ein anderer Ansatz gewählt worden. Der Wissensingenieur kann jeder Regel eine Wertung zuordnen. Diese Wertung entscheidet demnach letztlich über die weitere Verfahrensweise in Konfliktsituationen.

Vorteilhaft bei der Wahl dieses Auswahlkriteriums ist die bessere Nachvollziehbarkeit der Schlußfolgerungen für die Verifikation und Validierung während der Wissensakquisition.

Auch die Wahl der Metaregel ist genau wie die Wahl der Schlußfolgerungsmethode nur von untergeordneter Wichtigkeit für die Leistungsfähigkeit des gesamten Expertensystems.

4.3 Wahl der Entwicklungsumgebung

Prinzipiell stehen für den Aufbau eines Expertensystems mehrere Möglichkeiten zur Verfügung:

- Einsatz spezieller KI-Workstations in Kombination mit KI-Sprachen
- Nutzung einer Expertensystem-Shell bei konventioneller Hardware
- Programmierung mit KI-Sprachen wie LISP und PROLOG bei konventioneller Hardware
- Programmierung mit Programmiersprachen wie C, C++, Fortran, Pascal oder Basic bei konventioneller Hardware

Zwei der oben genannten Möglichkeiten erfüllen nicht die Voraussetzungen, die in der Zielsetzung für diese Arbeit formuliert worden sind. Der Einsatz von speziellen KI-Workstations ermöglicht aufgrund der Seltenheit dieser Systeme, wie aber auch des Preisniveaus, keine große Verbreitung des zu erstellenden Gesamtsystems.

Weiterhin werden aufgrund der steigenden Leistungsfähigkeit konventioneller Rechner solche Workstations weiter vom Markt verdrängt. Lediglich im Bereich der neuronalen Netze werden zur Mustererkennung im großen Umfang eigens dafür entwickelte Prozessoren eingesetzt. Die Schrifterkennung in Postsortieranlagen sei beispielhaft erwähnt.

Gegen die Nutzung der KI-Sprachen LISP, PROLOG oder deren Erweiterung spricht die nicht vorhandene Integrierbarkeit in moderne, graphisch orientierte Entwicklungsumgebungen. Ohne eine graphisch orientierte Bedienoberfläche ist jedoch eine allgemeine Zugänglichkeit und eine einfache Bedienbarkeit nach heutigen Gesichtspunkten nicht realisierbar.

Erst der Einsatz von Expertensystem-Shells bei der Entwicklung von Expertensystemen hat zu einer größeren Verbreitung von wissensbasierten Systemen geführt. Eine Expertensystem-Shell ist ein vollständig entwickeltes Expertensystem, bei dem lediglich die Wissensbasis leer ist. Die wichtigsten Vertreter sind in Kapitel 2.2.3 genannt worden.

Durch die Unterstützung einer Expertensystem-Shell verringert sich der Entwicklungsaufwand einer lauffähigen Anwendung allerdings erheblich. Nach Willan sinkt der Zeitaufwand für die Erstellung eines Expertensystems alle fünf Jahre um den Faktor zehn [Wil90].

Die hohe Flexibilität im Inferenzbereich und die sich daraus ergebende beinahe unbegrenzte Auswahl von Kombinationen an Suchstrategien, Schlußfolgerungsmechanismen und Metaregeln machen Expertensystem-Shells aber groß und schwerfällig. Weiterhin lassen sich Änderungen, die in der Expertensystem-Shell nicht vorgesehen sind, nicht oder nur schwer verwirklichen.

Vorteilhaft ist bei vielen Shells eine große Auswahl an Wissensrepräsentationsvarianten, mit deren Hilfe verschiedene Ansätze verglichen werden können. In der vorliegenden Situation stand der Ansatz zur Wissensrepräsentation aber vorab fest.

Insbesondere die Anpassung der Oberfläche an das betriebssystemspezifische Aussehen, dem GUI-Design (Graphical User Interface), läßt sich kaum realisieren, obwohl für einige Shells graphisch orientierte Zusatzmodule angeboten werden.

Im gegebenen Fall sollte eine Funktionalität des Expertensystems für den Nutzer nicht sichtbar im Hintergrund der Anwendung umgesetzt werden. Dieses ist bei klassischen Expertensystem-Shells nicht möglich. Informationen und Entscheidungen, die der Nutzer dem Expertensystem in Form von Eingaben zur Verfügung stellt, sollten mit Hilfe von Standardelementen des GUI's der Inferenzmaschine zur Verfügung gestellt werden.

Die Ergebnisse eines Arbeitsschrittes werden an vielen Stellen als integraler Bestandteil nachfolgender Oberflächen dem Nutzer übergeben. Diese integralen Bestandteile entstehen durch Änderungen von vorgegebenen Oberflächen zur Laufzeit oder durch Eintragungen in Protokolldateien.

Für *embedded systems*³ ist dagegen die Entwicklung mit Hilfe einer Expertensystem-Shell vorteilhaft. Vor allem im Bereich von technischen Diagnosesystemen sind *embedded systems* vorzufinden.

Die verbleibende Alternative ist die eigene Programmierung einer Expertensystemumgebung.

Für die Umsetzung der Inferenzmaschine und der Datenverwaltung unter C oder C++ stehen unter anderem bei der NASA fertige Programmodule als *open-source-code*⁴ zur Verfügung. Diese ermöglichen ein größtmögliches Maß an Flexibilität und reduzieren weiterhin den Aufwand bei der eigenen Programmierung.

Wie oben gezeigt, eignen sich Expertensystem-Shells sowie die eigene Programmierung für die Umsetzung des Problems. Ausschlaggebend für die Entscheidung, ein vollständig eigenes System zu programmieren, war neben den hohen Kosten für eine geeignete Shell

³embedded system [eng] = Eingebettete Systeme

⁴open-source-code [eng] = Programmcode zur freien und kostenlosen Nutzung

die Tatsache, daß der Aufwand für die Anpassung einer Shell an die besonderen Anforderungen größer eingeschätzt wurde als der Aufwand für die Programmierung.

Integrierbare *open-source-code*-Module fanden wegen ihrer schlechten Modifizierbarkeit im Bereich der Datenverwaltung keine Verwendung. Somit kamen auch die Elemente der Inferenzmaschine dieser *open-source-code*-Module nicht zum Einsatz.

In dem hier entwickelten System sind somit sämtliche Elemente neu programmiert worden, um vor allen Dingen der Tatsache genüge zu leisten, daß das Expertensystem im Hintergrund der Anwendung läuft und keine eigene Kommunikation mit dem Nutzer aufbaut (siehe Abbildung 6.1). Darüber hinaus waren die Überlegungen zu den Bereichen Wissensrepräsentation, Suchstrategien, Schlußfolgerungsmechanismen und Metaregeln vor der Programmierung bereits abgeschlossen.

4.4 Wissensakquisition

Die Wissensakquisition stellt den entscheidenden Schritt bei dem Aufbau eines Expertensystems dar. Prinzipiell können die unterschiedlichsten Wissensquellen für den Aufbau des bereichsspezifischen Expertenwissens genutzt werden. Dazu zählen unter anderem [ergänzt nach Kin93]:

- menschliche Experten,
- Handbücher,
- Bücher,
- Lexika,
- Kataloge,
- Datenbanken und
- das Internet.

Die bei diesem Expertensystem genutzten Wissensquellen stellen Fachbücher, Veröffentlichungen sowie zahlreiche Diskussionen dar. Hierbei kristallisierten sich drei Bereiche heraus, die genutzt werden konnten. Das Ableiten von Regeln aus:

- dem Wissen über die Funktionsweise der einzelnen Methoden, den Randbedingungen und den Einsatzbereichen,

- den direkten Verbindungen der Elemente in den Methoden und
- dem Wissen über die Vorgehensweise bei systematischen Neuerungen.

Die Schwierigkeiten bestehen hauptsächlich in zwei Bereichen. Zum einem ist zu ermitteln, ob überhaupt ausreichend Expertenwissen zur Verfügung steht, und zum anderen muß überprüft werden, ob sich das Wissen auf geeignete Weise strukturieren und darstellen läßt. Für die strukturierte Vorgehensweise bei der Wissensakquisition gibt es zwei grundsätzlich unterschiedliche Ansätze - die konzeptionelle Modellierung und das Rapid Prototyping.

Die konzeptionelle Modellierung trennt streng die Bereiche Wissenserhebung und Implementierung. Den wesentlichen Vorteil dieser Methode stellt der gute Überblick über das schon realisierte (akquirierte) Themengebiet dar. Nachteilig ist, daß erst am Ende der Entwicklungsarbeit der Wissensbasis ein lauffähiges Expertensystem zur Verfügung steht.

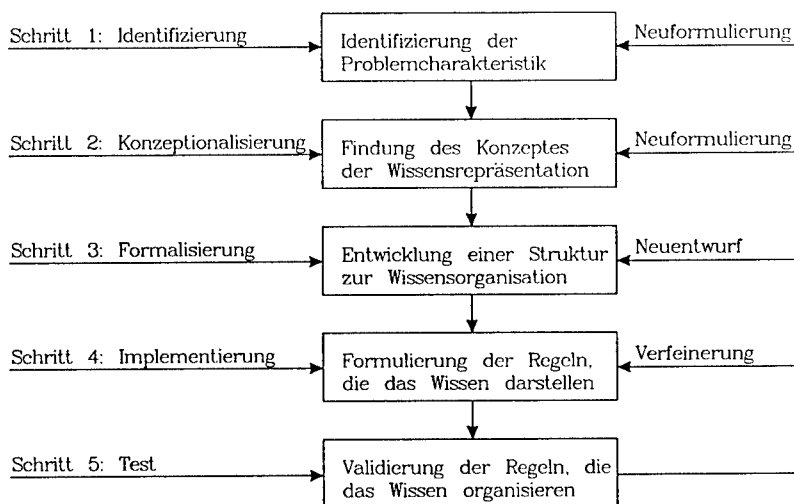


Abbildung 4.8: Wissensakquisition nach *Buchanan et al.* [HWL83]

Im Gegensatz dazu steht das Rapid Prototyping, das das Ziel verfolgt, schnellstmöglich eine funktionsfähige Implementierung in ein Expertensystem zu erreichen. Dieses wird dann innerhalb der in Abbildung 4.8 gezeigten fünf Schritte immer weiter ausgebaut und validiert. Schwierig gestalten sich hier aber grundlegende Änderungen an der Wissensbasis. Abhilfe können aber geeignete graphische Regeleditoren schaffen, mit deren Hilfe der Wissensingenieur den Überblick über den aktuellen Stand der Regelbasis behält und auf einfache Weise auch größere Änderungen durchführen kann.

Häufig werden aber die beiden oben genannten Methoden miteinander verknüpft [KL90]. Auf diese Weise können im begrenzten Maße die Vorteile beider Ansätze miteinander kombiniert werden. Bei dem Aufbau des hier zugrundeliegenden bereichsspezifischen Expertenwissens wurde ein gemischter Ansatz gewählt, der sich aber schwerpunktmäßig am Rapid Prototyping orientierte.

Innerhalb des Rapid Prototyping gibt es verschiedene Ausprägungsarten. An dieser Stelle sollen lediglich die wichtigsten Ansätze nach

- *Buchanan et al.*,
- *Harmon und King*,
- *Freiling* und
- *Grover*

genannt werden [KL90]. Der Ansatz nach *Buchanan et al.* stellt den am häufigsten eingesetzten und bekanntesten dar [KL90]. Aufgrund seiner einfachen Anwendbarkeit bei schwach strukturierten Wissensgebieten wurde für das entwickelte Expertensystem auf diese Variante zurückgegriffen.

Kapitel 5

Integration in ein Gesamtsystem

5.1 Neuer Ansatz im Vergleich zum Stand der Forschung

Die in Kapitel 3 eingeführten systematischen Methoden der Ideenfindung und des Erfindens wie aber auch die übrigen Methoden, die zur Schaffung von Neuerungen geeignet sind, haben jeweils besondere Einsatzfelder und spezifische Vor- und Nachteile. Ein derart mannigfaltiges aber gleichwohl abgegrenztes Fachwissen läßt sich mit Hilfe der künstlichen Intelligenz einem potentiellen Nutzer zur Verfügung stellen, ohne daß er selbst Zeit zur Erlangung des Verständnisses aufwenden muß.

Andererseits ermöglicht erst der Einsatz der künstlichen Intelligenz eine verschachtelte und hierarchische Verknüpfung der einzelnen Elemente zu einem intelligenten und selbstorganisierenden Gesamtsystem.

Ein alternatives Gesamtkonzept wird bei *Koller* [Kol97] vorgestellt (siehe auch Abbildung 5.1). Es besteht aus sechs Ebenen, die jeweils die verschiedenen methodenbezogenen Themenbereiche beinhalten. Die dritte Ebene ist beispielhaft in Tabelle 5.1 aufgeführt; sie enthält fast alle Elemente, die auch bei dem hier entwickelten Gesamtsystem eingesetzt wurden. Darüber hinaus werden bei *Koller* weitere Methoden wie zum Beispiel die Fehler-Möglichkeiten-Einfluß-Analyse (*FMEA*) genutzt [Kol97].

Das neu erstellte Gesamtsystem erstreckt sich auf die Thematik der ersten vier Ebenen. Die zwei abschließenden Ebenen sind im Gesamtzusammenhang betrachtet wichtig, lösen sich aber schon von der reinen Schaffung einer Neuerung ab. Durch sie soll vielmehr eine gezielte und erfolgreiche Vermarktung gesichert werden. Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß rund 95% aller weltweiten Patente niemals umgesetzt und vermarktet wurden [IDW97], stellt dieser Teil eine wichtige Erweiterung dar. Da aber die Schaffung einer Neuerung im Vordergrund des erarbeiteten Ansatzes stand, sind solche Überlegungen

nicht weiter berücksichtigt worden. Es soll aber darauf hingewiesen werden, daß gleichwohl eine Einarbeitung solcher Erkenntnisse in das expertensystembasierte Gesamtsystem möglich wäre.

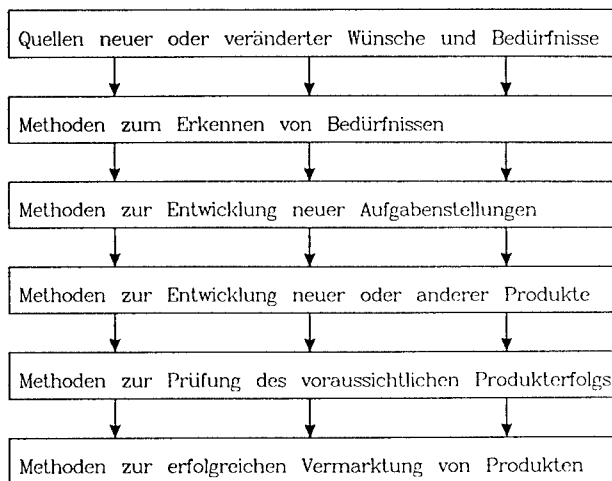


Abbildung 5.1: Die sechs Ebenen der Bedürfnisquellen und Methoden nach *Koller* [Kol97]

Die Schwäche des Verfahrens von *Koller* liegt in der reinen Aufzählung von Methoden und die lediglich auf Ebenencharakteristik strukturierte Aufarbeitung. Beispielhaft ist diese Eigenschaft für die dritte Ebene in Tabelle 5.1 dargestellt. Der Nutzer muß selber alle Verfahren beherrschen und beurteilen können. Ebenso sind weder Ausschlußkriterien für bestimmte Methoden vorgegeben, noch sind Rücksprünge vorgesehen. Weiterhin läßt sich durch die fehlende Selbstorganisation des von *Koller* vorgestellten Gesamtsystems in einigen Bereichen nur eine kleine Auswahl der insgesamt vorhandenen Möglichkeiten einbinden. An dieser Stelle sei auf die mangelnde Auswahl der Kreativitätstechniken in der dritten und vierten Ebene sowie auf die Reduzierung von *Altschullers* Gesamttheorie auf den Algorithmus *ARIS* verwiesen.

Die strikte Zuordnung von einzelnen Methoden zu bestimmten Ebenen, die *Koller* in seiner Darstellungsweise verwendet, verhindert die Nutzung hilfreicher Verfahren an geeigneten Stellen. Die Mächtigkeit der Kreativitätstechniken könnte neben den Ebenen drei und vier auch den anderen Ebenen zur Verfügung gestellt werden, um mehr Ideen zu erzeugen oder gefundene Ideen zu verdichten (siehe hierzu auch Kapitel 3.1).

Kollers Ansatz zeigt den allgemeinen Nachteil von Listen und Strukturen, die ohne eine eigene Intelligenz organisiert werden müssen. Für komplexe Systeme lassen sich nicht alle Eventualitäten in Form von Flußdiagrammen oder Tabellen ausdrücken. Die weitgehend

angepaßte Reaktion des Gesamtsystems auf die individuelle Situation ist ohne die Unterstützung durch einen Experten oder durch die Methoden der künstlichen Intelligenz nicht zu verwirklichen.

Ein weiterer als Gesamtsystem zu bezeichnender Ansatz stellt *WOIS* dar. Auch hier sind eine Reihe von Verfahren kombiniert. So fließen Elemente aus *ARIS* und auch Anteile der Kreativitätstechniken ein. Der Ablauf einer klassischen *WOIS*-Sitzung läßt sich am besten als Ablaufdiagramm beschreiben, in dem feste Rücksprünge in Form von Kontrollfragen nicht integriert sind. Es liegt im Ermessen des Nutzers, die Situationen zu erkennen, die zu Rücksprüngen führen. Für den richtigen Einsatz von *WOIS* ist demnach ein menschlich intelligenter Umgang mit der Strategie notwendig. Diese Funktion kann in begrenztem Maße durch die Systeme der künstlichen Intelligenz substituiert werden.

Systematische	Widerspruchsorientierte	Intuitive
Konstruktionsmethode, variieren und festlegen von:	ARIS	Quality Function Deployment
- Zweck	WOIS	Brainstorming
- Verfahren		Methode 635
- Bedingungen		Synektik
- Bedingungswerten		Bionik
- Gewichtungen		Delphi-Methode
FMEA		

Tabelle 5.1: Methoden zur Entwicklung neuer Aufgabenstellungen nach *Koller* (Ebene 3) [Kol97]

Die Tatsache, daß „erst die neuartige Technologie wissensbasierter Systeme“ die Einbeziehung der „überwiegend kreativ ausgerichteten Phasen Planen und Konzipieren in die Rechnerunterstützung“ erwarten ließ, wird von *Funk* und *Kinzinger* bestätigt [KF94].

Die Erkenntnis, daß die „Ideenfindung in der Konstruktion“ bei Ausnutzung aller geeigneten Verfahren ein Expertenwissen voraussetzt, bekräftigen *Grabowski et al.* in ihrer Aussage die „Universitäten als Brainware-Center“ zu nutzen [GJK97]. Nur hier ist das Expertenwissen über alle Methoden vereinigt, und so kann es auch ohne Einsatz eines Expertensystems zur Schaffung von Innovationen genutzt werden. Allerdings beschäftigen sich nur wenige Institute mit mehreren Methoden gleichzeitig. Eine Ausnahme stellt das von *Albers* geführte Institut dar, daß neben den widerspruchsorientierten Methoden auch die Kreativitätstechniken einsetzt.

Insgesamt kann das so gewonnene System, wie Abbildung 5.2 zeigt, dargestellt werden. Die auf das Expertensystem aufbauende Software (siehe dazu Kapitel 6) kommuniziert mit dem Benutzer; dieser Vorgang ist interaktiv. Bedingt durch die von dem Expertensystem gestellten Fragen ergeben sich entweder weitere Fragen oder Schlüsse. Diese Schlüsse sind in der Regel die Aufforderung an den Nutzer unter Anleitung gewisse Teilelemente

aus den Bereichen der methodischen Ideenfindung oder dem methodischen Erfinden abzuarbeiten. Die dadurch ermittelten Ergebnisse fließen wiederum als Antworten in das Expertensystem ein (siehe Abbildung 5.7). Dieser sequentielle Vorgang endet entweder mit der Schaffung einer Neuerung oder mit dem Abbruch durch das Expertensystem, wenn alle Produktionsregeln genutzt worden sind.

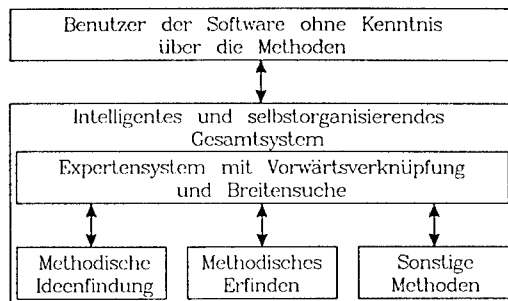


Abbildung 5.2: Künstlich intelligentes und selbstorganisierendes Gesamtsystem

Für den Einsatz eines Expertensystems wird neben der softwaretechnischen Realisierung das fachspezifische Expertenwissen benötigt. Dieses soll wie in Kapitel 4.4 gezeigt, mit Hilfe des Rapid Prototyping Ansatzes aufgebaut werden. Die Vorgehensweise hierfür ist in Kapitel 5.2 und 5.3 aufgeführt.

Da die Wissensakquisition bei einem solch breiten Wissensspektrum aufgrund der teilweise voneinander losgelösten Teilgebiete nicht trivial ist, soll in den nächsten Unterkapiteln nur der Ansatz, nicht aber die konkrete Realisierung dargestellt werden. Insbesondere die Parallelität der Daten und die gleichzeitig gegebene Abhängigkeit der Lösungen voneinander stellen ein wesentliches Problem bei der Realisierung dar.

Vollständigkeitshalber sei aber der Lösungsansatz erwähnt, der in einer mehrdimensionalen dynamischen Datenverwaltung besteht. Hierbei stehen mehrere fallspezifische Wissensbasen zeitlich parallel zur Verfügung. Untereinander besteht eine zweistufige Hierarchie (siehe Kapitel 5.3). Den Systemen der oberen Hierarchieebene ist es möglich, die Systeme aus der unteren Ebene zu starten, deren fallspezifische Wissensbasen zu löschen und Ergebnisse zu übernehmen (siehe Abbildung 5.8).

5.2 Wissensakquisition für die Methoden

Die in Kapitel 4.4 beschriebene Wissensakquisition soll für die methodische Ideenfindung und das methodische Erfinden getrennt betrachtet werden, da eine unterschiedliche

Herangehensweise für diese beiden Bereiche genutzt wird. Zuerst werden die Kreativitätstechniken betrachtet, da für diese auf einfachere Weise Regeln für die Wissensbasis gewonnen werden können. Danach wird der Ansatz für die widerspruchorientierten Methoden *ARIS* und *WOIS* hergeleitet.

5.2.1 Die methodische Ideenfindung

Die einzelnen Methoden, die in Kapitel 3 dargestellt worden sind, haben ihre spezifischen Kriterien, um einen wirkungsvollen Einsatz zu gewährleisten. Diese Einsatzkriterien und die Regeln für die richtige Anwendung können in Form von logischen Regeln ausgedrückt werden. Die Einordnung der gewonnenen Regeln in eine Ebenenstruktur erfolgt in bezug auf eine möglichst schnelle Reduzierung der Anzahl der einsetzbaren Kreativitätstechniken bei der Bearbeitung eines konkreten Problems.

Wichtig für den Erfolg einer Kreativitätssitzung ist die Wahl der richtigen Methode. Für die Auswahl sind unter anderem folgende Faktoren entscheidend:

- Art der Problemstellung
 - Suchproblem
 - Analyseproblem
 - Konstellationsproblem
 - undefiniertes Problem
- Anzahl der Personen, die an der Sitzung teilnehmen wollen
- Hierarchiefreiheit, -unfreiheit der Gruppe
- Heterogenität
- Existenz eines geeigneten Leiters für die Sitzung
- Ausbildungsgrad der Individuen bezüglich der Kreativitätstechniken
- Maximaler Zeiteinsatz und Anzahl der Sitzungen
- Zur Verfügung stehende Hilfsmittel z.B.:
 - Pinnwand, Tafel, Flip-Chart
 - Dia-, Video-, Overhead- oder Datenprojektoren
 - Bilder oder Modelle
 - Art der Räumlichkeiten

- Motivation der Gruppe
- Räumliche und/oder zeitliche Trennung der Gruppe
- Weitere Faktoren

In Abbildung 5.3 sind die wichtigsten Vertreter der Gruppe der intuitiven Ideenvielfalt mit ihren Einsatzkriterien dargestellt. Anhand der Symbole ist die Wirksamkeit der einzelnen Methoden hinsichtlich der wichtigsten Parameter abzulesen. Wenn die Rahmenbedingungen einer Kreativitätssitzung außerhalb der vorgegebenen Bereiche für die Parameter einer bestimmten Methode liegen, sollte diese nicht eingesetzt werden.

Abbildung 5.4 zeigt einige Methoden der systematischen Ideenvielfalt, die in der letzten Fassung in dem Gesamtsystem integriert waren mit ihrer Wirksamkeit bezüglich der schon oben erwähnten Einsatzkriterien.

Die Parameter für die beiden oben erwähnten Graphiken wurden mit Hilfe von [Sch77], [Sch80], [Sch85], [Joh85], [HW96], [Csi97] und [HW96] ermittelt.

Das Wissen um die Vor- und Nachteile der einzelnen Methoden sowie deren Bedarf an Hilfsmitteln, Personal und Zeit ist in Regeln und Fakten ausdrückbar. Diese Tatsache ist für den Aufbau des bereichsspezifischen Expertenwissens wichtig. Durch die Verkettung mehrerer Globalregeln kann für jede der integrierten 61 Kreativitätstechniken die Eignung in bezug auf die vorliegenden Rahmenbedingungen ermittelt werden.

Alternativ zu der Wahl einer schon bekannten Kreativitätstechnik besteht die Möglichkeit, sich eine Technik aufgrund der gegebenen Umstände mit Hilfe eines Expertensystems zusammenstellen zu lassen. Zu den gegebenen Umständen zählen neben den vorhandenen Hilfsmitteln (siehe Abbildung 5.5) und deren gewünschtem Einsatz auch die oben genannten Bedingungen.

Die speziell auf den Einzelfall zusammengestellte Methode der Kreativitätstechnik birgt Vor- und Nachteile gegenüber der Auswahl aus einem Pool bestehender Methoden. Vorteilhaft ist die möglichst nahe Anpassung an die Situation und die Tatsache, ständig mit neuen Methoden konfrontiert zu werden. Da die einzelnen Verfahren vorher nicht auf ihre Leistungsfähigkeit getestet wurden, kann keine Aussage über die tatsächliche Wirksamkeit der Methoden gemacht werden, was einen eindeutigen Nachteil darstellt.

Idealerweise sollte ein Expertensystem zur Erzeugung neuartiger Kreativitätstechniken aus der endlichen Anzahl von Einflußfaktoren ein mehrdimensionales und stetiges Feld erzeugen, aus dem für jede Situation die passende Methode ermittelbar ist. Dieses kann allerdings nicht realisiert werden. Vielmehr ist dieser Ansatz ein Versuch, sich von der Menge einzelner Techniken zu trennen und stets (sub)optimale Verfahren zu generieren.

So ist garantiert, daß nicht immer dieselben Methoden angewendet werden und es damit nicht zu einem gewohnheitsbedingt nachlassenden Innovationsvermögen kommt. Einen ersten Ansatz für die Aufspaltung der verschiedenen Elemente der Kreativitätstechniken ist bei *Higgins* und *Wiese* zu finden [HW96].

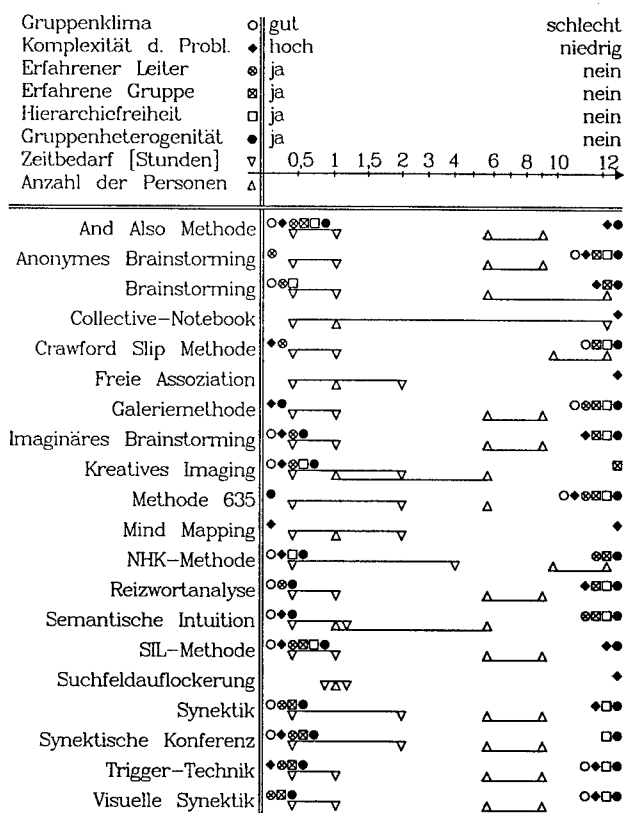


Abbildung 5.3: Anwendungsbeschränkungen der Methoden intuitiver Ideenvielfalt

Die so geschaffene Alternative sollte in ihrem jetzigen Entwicklungsstadium nur als Ausweichmöglichkeit angesehen werden. Wenn aus der Menge der bestehenden Methoden eine annähernd geeignete gefunden wird, sollte diese der durch das Expertensystem erzeugten Methode vorgezogen werden.

Der Grundgedanke, eine Kreativitätstechnik anhand der Rahmenbedingungen für den Einzelfall durch ein Expertensystem zusammenstellen zu lassen, ist neuartig. Der Entwurf der Regeln wurde mit Hilfe des Rapid-Prototyping-Verfahrens realisiert. Die erstellten Ergebnisse sind zum jetzigen Zeitpunkt für einen industriellen Einsatz nicht geeignet.

Materialien und technische Hilfsmittel für Kreativitätsrunden und innovative Sitzungen Eignung der eingesetzten Mittel für den Kreativitätsprozeß und Einfluß auf den Sitzungsverlauf	Tafel	Flipchart	Pinwand	...	Videoprojektoren	...	Bilder und Modelle
Gruppen mit weniger als 10 Teilnehmern	••	•••	•••	•••	••	•••	•••
Gruppen mit mehr als 10 Teilnehmern	••	○	○	•••	••	•••	••
Bildqualität	••	••	•	•••	••	•••	•••
•	•	•	•	•	•	•	•
Beteiligung	•••	•••	•••	•	○	•••	○/•
•	•	•	•	•	•	•	•
Vorbereitung	○	•	•	•	•••	•	•••

Abbildung 5.5: Hilfsmittel für Kreativitätstechniken und ihre Auswirkungen auf den Kreativitätsprozeß [HS78]

Aufgrund der geringen Anzahl an Fragen und der Tatsache, daß deren Beantwortung sehr einfach und nicht zeitintensiv ist, werden dem Nutzer grundsätzlich alle Fragen gestellt. Vorteilhaft an dieser Vorgehensweise ist der hohe Wiedererkennungswert der sich so ergebenden Bedienoberfläche (siehe Kapitel 6).

5.2.2 Das methodische Erfinden

Auslösende Elemente für die Nutzung der oben genannten Kreativitätstechniken sind im Rahmen dieses Gesamtsystems fast ausnahmslos die widerspruchsorientierten Techniken, für die sich ähnliche, aber nicht so unmittelbar zu gewinnende Regeln wie im oberen Teil des Kapitels ergeben.

Es sei an dieser Stelle angemerkt, daß für die Beratung über die Anmeldung von Patenten, Gebrauchs- und Geschmacksmustern die Regeln wie bei den Kreativitätstechniken in das fachspezifische Expertenwissen integriert worden sind. Hierbei sind allerdings lediglich Entscheidungsfragen eingearbeitet worden. Dieses liegt an der Eindeutigkeit juristischer

Aussagen, die im Bereich des Patentgesetzes vorgegeben sind. Die Unterstützung bei Anmeldungen ist als zusätzliches Modul in die entwickelte Software eingeflossen.

Bei *ARIS* und *WOIS* muß ein aufwendigerer Ansatz gewählt werden. Hier ist es nur dann möglich, Regeln zu gewinnen, wenn die Methoden in ihre einzelnen Bestandteile zerlegt werden. Die einzelnen Elemente von *Altschullers* Ansatz sind in Form einer Aufzählung in Kapitel 3.2 enthalten. Für die widerspruchorientierte Innovationsstrategie ergibt sich ein ähnlich umfangreiches Bild, das teilweise aus den in Tabelle 3.4 genannten Komponenten zusammengestellt werden kann. Unter einem Element wird ein einzelner Schritt eines Algorithmus (*ARIS*) oder einer Strategie (*WOIS*) verstanden.

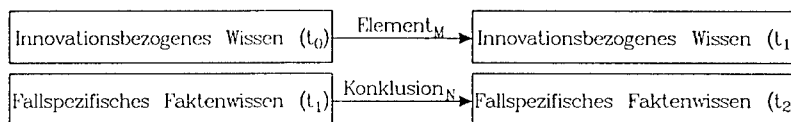


Abbildung 5.6: Änderung der Daten durch die Anwendung eines Elementes

Da fast jedes Element für seine Benutzung gewisse Vorinformationen benötigt (außer beispielsweise die Orientierungsfelder von *WOIS*), aus denen es bei erfolgreicher Anwendung neue Informationen erzeugt, wurde diese Eigenschaft als grundlegendes Hilfsmittel für die Regelgewinnung herangezogen. Abbildung 5.6 zeigt den Zusammenhang zwischen dem innovationsbezogenen Wissen und dem fallspezifischen Faktenwissen einer Sitzung. Unter innovationsbezogenem Wissen wird die Information verstanden, die bei der Bearbeitung eines Elementes aus *ARIS* oder *WOIS* beziehungsweise durch das Abhalten einer Kreativitätssitzung entsteht. Bei bestimmten Elementen können die innovationsbezogenen Informationen direkt auch für das fallspezifische Faktenwissen genutzt werden. In vielen Bereichen ist allerdings eine zusätzliche Abfrage beim Nutzer notwendig.

Die Elemente wurden für eine erste Positionierung für das Rapid Prototyping im bereichsspezifischen Expertenwissen anhand ihrer Funktion innerhalb des Innovationsprozesses eingeteilt. Dieser gliedert sich in:

- die Sammel- und Aufbereitungsphase,
- die Phase der Widerspruchüberwindung und die analytische Betrachtung sowie
- die Ausformulierungs- und Variationsphase.

In diese drei Phasen gliedert sich demnach auch der Ablauf einer Innovationssitzung mit dem Gesamtsystem. Bei *WOIS* werden von *Linde* die oben genannten Phasen als Bereiche bezeichnet¹ und in den

¹<http://www.ft-coburg.de/fbm/Labors/lab.innovation/wois2.html>

- Orientierungsbereich,
- Widerspruchsbereich und
- Lösungsbereich

eingeteilt. Diese Aufgliederung kommt der in dem erstellten Gesamtsystem benutzten nahe. Für die Integration der Elemente von *ARIS* ist die gewählte Aufteilung allerdings vorteilhafter, da sich einige Elemente von *ARIS* nicht den drei Bereichen von *WOIS* zuordnen lassen. Beispielsweise soll die *WePol*-Umformung genannt werden.

Die Elemente, die keine Eingangsinformationen benötigen und ihre neu zu gewinnenden Informationen für das fallspezifische Faktenwissen nur durch die Eingaben des Nutzers erschließen, bieten sich demnach für die Platzierung in der ersten Ebene des Expertensystems an.

Die oben beschriebene Regelgewinnung soll an einem einfachen Beispiel aus der Sammel- und Aufbereitungsphase erläutert werden. Hierfür stehen bei *ARIS* und *WOIS* verschiedene Elemente zur Verfügung. Bei dem Element von *ARIS* (Analyse des Aufgabenmodells) werden folgende Eingangsgrößen benötigt:

- ein Element (Stoff bzw. Feld) des Systems, wenn das System nur aus einem Systemelement besteht;
- zwei Elemente (Stoffe und/oder Felder), wobei das erste Systemelement ein Objekt sein muß. Das zweite Systemelement kann ebenfalls ein Objekt, aber auch ein Werkzeug, Instrument oder Medium sein. Zwischen den beiden Systemelementen muß eine Wechselwirkung bestehen.

Als Ausgangsgrößen liefert die Bearbeitung dieses Innovationsschrittes die Erkenntnis, welches Element bei zwei Elementen zu verändern oder zu beeinflussen ist. Darüber hinaus wird das ideale Endresultat ermittelt.

Demnach entsteht als Regel eine wenn-dann-Regel, deren linke Seite (wenn-Seite) aus einer Oder-Verknüpfung der Fakten der Eingangsgrößen besteht. Sind diese erfüllt und wählt das Expertensystem diese Regel, dann muß durch den Nutzer ein Element bearbeitet werden. Auf der rechten Seite der wenn-dann-Regel werden bei erfolgreicher Bearbeitung des Elementes durch den Nutzer die Fakten für die Ermittlung des zu verändernden Systemelementes und das ideale Endresultat gesetzt.

An dieser Stelle wird ein besonderes Problem deutlich. Je nachdem, ob die Innovationsaufgabe ein oder zwei Systemelemente (Stoff und/oder Feld) enthält, ist die Ermittlung

des zu verändernden Systemelementes hinfällig, da bei lediglich einem Element im System zwangsläufig dieses nur variiert werden kann. Eine einfache Aufspaltung der Regel in zwei einzelne Regeln, die jeweils nur eine Ausgangsgröße auf der linken Seite besitzen, löst das Problem nicht. Häufig wird in späteren Schritten ein Systemelement zusätzlich aufgenommen oder es wird ein Systemelement entfernt. Bei der Trennung der Regel in zwei einzelne Regeln würde es zu einem Konflikt kommen. Beide Regeln würden getrennt voneinander ausgelöst werden. Als Konsequenz würde unter Umständen ein nicht konsistenter Inhalt in der fallspezifischen Wissensbasis entstehen.

Es sei an dieser Stelle angemerkt, daß in der Endfassung des fachspezifischen Expertenwissens eine deutlich aufwendigere Regel integriert wurde, um ein zu frühes Ausführen dieses Innovationselementes zu vermeiden.

Die Regeln, die so gewonnen werden, beschreiben demnach nicht die Eigenschaften der gesamten Methode *ARIS* beziehungsweise *WOIS*, sondern vielmehr die Leistungsfähigkeit der Einzelteile. Die dadurch verlorengegangene innere Struktur der beiden Methoden, die speziell bei *ARIS* umfangreich ist, wird durch einen zusätzlichen Ansatz wieder in das Gesamtsystem eingefügt.

Das Auftrennen der beiden Methoden zu einer Summe ihrer Einzelelemente und das anschließende Zusammenfügen der Einzelelemente zu einem neuen Gesamtsystem ist die Ausgangsbasis zur Integration von *ARIS* und *WOIS*. Hierbei fallen als Vorteil einige doppelt vorhandene Einzelelemente weg.

An verschiedenen Stellen beziehen sich die einzelnen Methoden direkt aufeinander. Bei *WOIS* wird zum Beispiel auf die Nutzung der 40 Verfahrensprinzipien von *Altschuller* verwiesen [LMN94] wie aber auch auf die Umwandlung von Systemen mit Hilfe der Stoff-Feld-Theorie [LMN94].

Durch die oben gezeigte Zerlegung der großen Systeme in ihre einzelnen Elemente geht die eigentliche Verbindung (die Strukturierung) verloren. Eine solche Strukturierung kann aus einer einfachen sequentiellen Verkettung (siehe Abbildung 5.1) oder aus einem verschachtelten Ablaufdiagramm wie bei *ARIS* von *Altschuller* [Alt84] bestehen. Die dort enthaltenen Zusammenhänge sind in Regeln ausgedrückt worden und auf diese Weise in das Expertensystem integriert.

Da, wie in Kapitel 5.2 gezeigt, viele Elemente mehrfach genutzt werden, ist eine parallele Verknüpfung notwendig. Die dadurch entstehende Problematik für die Datenstruktur soll nicht weiter erörtert werden.

5.3 Die Vorgehensweise bei systematischen Neuerungen

Innovationsprozesse werden aus den unterschiedlichsten Situationen heraus angeregt. Es kann sich um eine vollständige Neuschaffung eines Objektes handeln, aber ebenso um eine Weiterentwicklung auf annähernd erfinderischem Niveau. Andererseits kann vor dem Beginn einer Innovationssituation das Ziel oder das zu erneuernde Objekt überhaupt nicht bekannt sein. Diese und weitere Faktoren bestimmen maßgeblich den Verlauf des gesamten Prozesses, auf die das Expertensystem in geeigneter Weise reagieren muß.

Dieser Tatsache leisten die einzelnen Methoden durch ihren strukturellen Aufbau genüge. *ARIS* und *WOIS* lassen sich, wie oben gezeigt, bezüglich der drei Innovationsphasen aufteilen. Die Kreativitätstechniken, die bekanntermaßen ein Abbild des Phasenmodells nach *Csikszentmihalyi* bilden, können ebenfalls als Reflektion dieses Zusammenhangs angesehen werden. Diese grundlegende Erkenntnis über den Ablauf eines Innovationsprozesses wurden bei dem Expertensystem eingearbeitet.

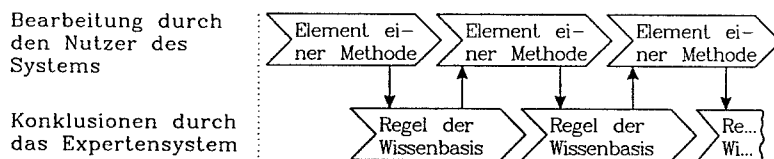


Abbildung 5.7: Ablauf einer Expertensystemsitzung mit einer Wissensbasis

Für diese Einarbeitung ist es nicht zwingend erforderlich, zusätzliche Regeln zu erstellen. Vielmehr erfolgt die Berücksichtigung der chronologischen Abfolge der Phasen durch die Anordnung in verschiedene Bereiche innerhalb der Wissensbasis. Die auf diesen Zusammenhang gesondert zugeschnittene Inferenzmaschine wechselt erst dann zur nächsten Phase, wenn die momentan bearbeitete Phase (und somit deren Ebenen) erfolgreich abgearbeitet worden sind. Die Aufteilung der Wissensbasis in bestimmte Bereiche entspricht allerdings nicht dem Gedanken einer Wissensrepräsentation mit Hilfe von Frames.

Bestimmte einzelne Methoden bilden einen in sich geschlossenen Ablauf. Dieser Tatsache wird durch Einführen mehrerer hierarchischer Wissensbasen Rechnung getragen. Die Beratung bei der Auswahl von Kreativitätstechniken, wie aber auch die Unterstützung bei der Patentanmeldung, sind innerhalb des Gesamtsystems auf diese Weise eingearbeitet worden.

In Abbildung 5.8 ist der prinzipielle Ablauf für die hierarchische Verbindung zweier Expertensysteme und deren Wissensbasen veranschaulicht. Der Ablauf einer Sitzung mit einem einstufigen Expertensystem ist in Abbildung 5.7 dargestellt. Es ist dabei anzumerken,

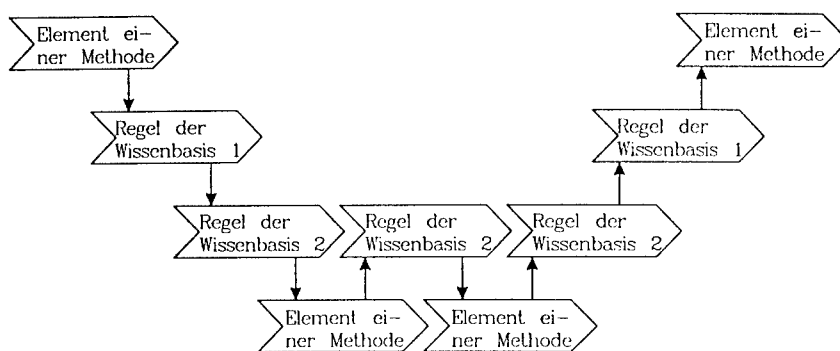


Abbildung 5.8: Ablauf einer Expertensystemsitzung mit zwei hierarchischen Wissensbasen

daß nach jedem Aufruf des übergeordneten Systems die Wissensbasis des untergeordneten gelöscht wird. Alle Systeme arbeiten mit den gleichen Rahmenbedingungen bezüglich der Inferenzmaschine und der Wissensrepräsentation wie sie in den Kapiteln 4.1 und 4.2 eingeführt worden sind.

Innovationssituationen werden für eine bessere Anpassung des Expertensystems im Rahmen dieser Arbeit durch die Kombination der folgenden zwei Parameter klassifiziert:

- Ursprung
 - Die angestrebte Neuerung entstammt dem technischen Bereich.
 - Die geplante Innovation kommt aus dem nichttechnischen Bereich.
- Vorarbeit
 - Die Aufgabenstellung ist detailliert formuliert.
 - Die Aufgabe ist eher undefiniert.

Eine Art, diese vier Variationsmöglichkeiten in einem Expertensystem mit vorwärtsverknüpfter Breitensuche zu integrieren, ohne den Nutzer mit für seine explizite Situation überflüssigen Fragen zu konfrontieren, bietet die Möglichkeit einer vorgeschalteten Abfrage. Diese ermittelt im ersten Schritt die Art der Innovationssituation und lädt erst danach die dazu passende Wissensbasis in das Expertensystem.

Vorteilhaft an diesem zweistufigen Aufbau ist die bessere Anpassung an das Problem des Nutzers. Weiterhin kommt es durch die geringere Mächtigkeit der einzelnen Wissensbasen zu weniger überflüssigen Fragen und Konklusionen. Dieses läßt sich nicht mit Hilfe einer einzigen Wissensbasis für ein Expertensystem erreichen.

Darüber hinaus sind die einzelnen Wissensbasen kleiner und überschaubarer, was insbesondere für die Wartung eine entscheidende Rolle spielt. Nachteilig wirkt sich am Anfang die Entwicklung mehrerer Wissensbasen aus, wodurch der Aufwand der Wissensakquisition im Rahmen des Rapid Prototyping erhöht wird.

In der letzten Fassung des vorliegenden Systems wurde der gezeigte Ansatz eines zweistufigen Modells wieder verworfen. Es wurde aber im Verlauf der Entwicklung nachgewiesen, daß solche Ansätze umsetzbar sind.

Unabhängig davon, welche der beiden Möglichkeiten für den Aufbau der Wissensbasis genutzt wird, sind abschließend zwei Punkte für die Wirksamkeit des Gesamtsystems ausschlaggebend:

1. Auswahl

Zur Lösung eines Problems muß die richtige Methode beziehungsweise das richtige Element in der richtigen Phase des Innovationsprozesses eingesetzt werden.

2. Anwendung

Die für die Bearbeitung eines Lösungsschrittes ausgewählte Methode muß richtig angewendet werden. Dieses muß bei der Erstellung der Software berücksichtigt werden (siehe Kapitel 6).

Der neue integrative Ansatz ist somit mehr als die Summe der einzelnen Elemente. Er ist auch mehr als ein einfacher Pool aus Methoden. Durch den Einsatz des Expertensystems ist ein aktiv agierendes System entstanden, das sich in bezug auf den Grad der Selbstorganisation von den bisherigen Ansätzen distanziert. Es soll aber nicht unerwähnt bleiben, daß die Definition der Begriffe Intelligenz und Wissen in diesem Zusammenhang deutlich von denen in der pädagogischen und psychologischen Literatur abweicht. Pädagogische und psychologische Sichtweisen stellen unter anderem deutlich höhere Anforderungen an die Begriffe Wissen und Intelligenz.

5.4 WePol-Umformung

Nicht alle Elemente und Erkenntnisse des methodischen Erfindens lassen sich auf geeignete Weise in das wissensbasierte System einarbeiten. Neben einigen Tabellen, die einfach auszulesen sind und deshalb nicht weiter bezüglich ihrer Integration betrachtet werden sollen, fordert die Aufstellung und Umformung von *WePol*-Systemen eine andere Herangehensweise.

Für die Verarbeitung der Umformregeln bei *WePol*-Systemen wurde folgender mathematischer Ansatz gewählt.

Die Felder werden im ersten Schritt durch die Menge \mathcal{F} repräsentiert. Die Stoffe ihrerseits werden durch die Menge \mathcal{S} vertreten. Es ergibt sich somit:

$$\mathcal{F} = \{f_1, f_2, f_3 \dots f_n\} \quad (5.1)$$

$$\mathcal{S} = \{s_1, s_2, s_3 \dots s_m\} \quad (5.2)$$

Felder und Stoffe können nach *Altschuller* begrifflich unter der Bezeichnung Element zusammengefaßt werden [Alt84]. An einigen Stellen dieser Arbeit wird zur besseren Unterscheidung von den Elementen der Innovationsmethoden auch der Begriff Systemelement genutzt.

Die Menge der Elemente \mathcal{E} ergibt sich durch die Vereinigung der Mengen \mathcal{F} und \mathcal{S} .

$$\mathcal{E} = \mathcal{F} \cup \mathcal{S} \quad (5.3)$$

$$\mathcal{E} = \{e_1, e_2, e_3 \dots e_p\} \text{ mit } p = n + m \quad (5.4)$$

In einem zweiten auf diese Mengen aufbauenden Schritt wird für jede Kombination zweier Elemente eine boole'sche Wirkungsmatrix \underline{G} aufgestellt. Eine boole'sche Wirkungsmatrix wird definiert als eine Matrix, in der jedes Element eine boole'sche Größe darstellt.

Im ersten Schritt, der im Rahmen dieser Arbeit realisiert wurde, sind nur die Werte 0 und 1 zugelassen, die die Aussagen „eine Wirkung existiert nicht“ beziehungsweise „eine Wirkung existiert“ repräsentieren. In einem weiteren Schritt können auch unscharfe Größen als Werte in einem Intervall $[0, 1]$ umgesetzt werden.

Die boole'sche Wirkungsmatrix unterscheidet zwischen permanenten Wirkungen, die in der Teilmatrix \underline{P} ausgedrückt werden, sowie Eingangs- \underline{E} und Ausgangswirkungen \underline{A} beziehungsweise veränderlichen Wirkungen \underline{V} . Unter Eingangswirkungen werden Wirkungen verstanden, die bei Systemen, die einen Eingangs- und einen Ausgangszustand haben, am Eingang vorliegen.

Jede dieser Matrizen \underline{P} , \underline{E} , \underline{A} und \underline{V} hat strukturell den gleichen Aufbau, der durch die allgemeine boole'sche Wirkungsteilmatrix \underline{W} beschrieben wird. Die Wirkungsteilmatrix besitzt die Dimension $(3, 3)$ und spiegelt in den Spalten die Art der Wirkungen

- vorhanden,
- notwendig und
- unbefriedigend

und in ihren Zeilen die Richtungen

- auf das Element wirkend,
- vom Element wirkend und
- beidseitig wirkend

wider. Beispielhaft sei die allgemeine Wirkungsmatrix zwischen dem Element e_i und e_j

$$\underline{W}_{e_i, e_j} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (5.5)$$

gegeben. Durch sie wird ausgedrückt, daß eine notwendige Wirkung von Element e_i auf e_j vorliegt. Je nachdem, ob diese notwendige Bedingung permanenter oder veränderlicher Natur ist, beziehungsweise nur am Ausgang oder Eingang vorliegt, würde das oben genannte Ergebnis in eine der vier Matrizen \underline{P} , \underline{E} , \underline{A} oder \underline{V} einfließen.

Somit wird die Gesamtwirkung vom Element i auf das Element j definiert als:

$$\begin{matrix} \underline{G}_{e_i, e_j} \\ (6, 6) \end{matrix} = \begin{bmatrix} \underline{P}_{e_i, e_j} & \underline{E}_{e_i, e_j} \\ (3,3) & (3,3) \\ \underline{A}_{e_i, e_j} & \underline{V}_{e_i, e_j} \\ (3,3) & (3,3) \end{bmatrix} \quad (5.6)$$

Sämtliche Wirkungen zwischen Element i und j , die in der Matrix \underline{G}_{e_i, e_j} enthalten sind, finden sich an entsprechender Stelle auch in der Matrix \underline{G}_{e_j, e_i} wieder. Somit würde für eine weitere Betrachtung aller Gesamtwirkungen eines *WePot*-Systems, die sich in der Matrix \underline{G}

$$\begin{matrix} \underline{G} \\ (6p, 6p) \end{matrix} = \begin{bmatrix} \underline{G}_{f_1, f_1} & \underline{G}_{f_1, f_2} & \cdots & \underline{G}_{f_1, f_n} & \underline{G}_{f_1, s_1} & \cdots & \underline{G}_{f_1, s_m} \\ \underline{G}_{f_2, f_1} & \underline{G}_{f_2, f_2} & \cdots & \underline{G}_{f_2, f_n} & \underline{G}_{f_2, s_1} & \cdots & \underline{G}_{f_2, s_m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \underline{G}_{f_n, f_1} & \underline{G}_{f_n, f_2} & \cdots & \underline{G}_{f_n, f_n} & \underline{G}_{f_n, s_1} & \cdots & \underline{G}_{f_n, s_m} \\ \underline{G}_{s_1, f_1} & \underline{G}_{s_1, f_2} & \cdots & \underline{G}_{s_1, f_n} & \underline{G}_{s_1, s_1} & \cdots & \underline{G}_{s_1, s_m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \underline{G}_{s_m, f_1} & \underline{G}_{s_m, f_2} & \cdots & \underline{G}_{s_m, f_n} & \underline{G}_{s_m, s_1} & \cdots & \underline{G}_{s_m, s_m} \end{bmatrix} \quad (5.7)$$

widerspiegeln, die Hälfte unter beziehungsweise oberhalb der Hauptdiagonalen von \underline{G} (Dreiecksmatrix) genügen. Für die Umsetzung in einen für die Softwareportierung geeigneten Algorithmus ist diese Reduzierung der Matrix aber nicht realisiert worden, da

der sich ergebende Lösungsalgorithmus erheblich aufwendiger würde. Die Beziehungen zwischen zwei Stoffen beziehungsweise zwischen zwei Feldern sowie die Wirkung zwischen Stoffen und Feldern lassen sich durch die Aufteilung von \underline{G} in vier Untermatrizen aufzeigen.

$$\begin{matrix} \underline{G} \\ (6p, 6p) \end{matrix} = \begin{bmatrix} \begin{matrix} \underline{G}_{FF} \\ (6n, 6n) \end{matrix} & \begin{matrix} \underline{G}_{FS} \\ (6n, 6m) \end{matrix} \\ \begin{matrix} \underline{G}_{SF} \\ (6m, 6n) \end{matrix} & \begin{matrix} \underline{G}_{SS} \\ (6m, 6m) \end{matrix} \end{bmatrix} \quad (5.8)$$

Auf Grundlage dieser mathematischen Formulierung von *WePol*-Systemen, soll in einem zweiten Schritt gezeigt werden, wie die Umformung zu einem minimalen System realisiert wird. Es sei angemerkt, daß auf bestimmte Details der mathematischen Beschreibung mit Rücksicht auf eine bessere Verständlichkeit verzichtet wird. Dazu zählen unter anderem die mathematische Berücksichtigung der *WePol*-Eigenschaften wie:

- Beschränkungen bei der Zuführung von Elementen,
- Berücksichtigung von Eigenschaften bezüglich der Messung,
- Forderungen nach Art der Wirkung,
- Art der Erscheinungsformen einzelner Elemente und
- Restriktionen bei der Erweiterung der Systeme

Diese zusätzlichen Eigenschaften, die die Nutzung bestimmter Umformschritte einschränkt, werden ebenfalls mit Hilfe einer boole'schen Matrix abgebildet.

Ebenso sind je nach Anzahl der im Ausgangssystem enthaltenen Elemente bestimmte Umformschritte nicht anwendbar. Diese werden ebenfalls in der oben genannten boole'schen Matrix widergespiegelt.

Bei jedem Umformschritt kann sich die Anzahl der Felder und Stoffe vergrößern oder verkleinern. Somit kann sich die Mächtigkeit der Mengen \mathcal{F} , \mathcal{S} und \mathcal{E} verändern. Die auf diesen Mengen aufbauenden Matrizen ändern sich ebenfalls.

Nicht nur die Werte der Matrix \underline{G} ändern sich, sondern auch ihre Dimension. Dieses wird durch die Einführung eines Umformungsindex $u \in \mathbb{N}^0$ realisiert. Die Ausgangssituation $u = 0$ würde sich bei Einführung eines zusätzlichen Stoffes im ersten Umformungsschritt verändern zu:

$$F_{(0)} = \{f_1, f_2 \dots f_{n_0}\} \Rightarrow F_{(1)} = \{f_1, f_2 \dots f_{n_1}\}, n_1 = n_0 \quad (5.9)$$

$$S_{(0)} = \{s_1, s_2 \dots s_{m_0}\} \Rightarrow S_{(1)} = \{s_1, s_2 \dots s_{m_1}\} \cup \{s_{m_1}\}, m_1 = m_0 + 1 \quad (5.10)$$

$$E_{(1)} = F_{(1)} \cup S_{(1)} \Rightarrow E_{(1)} = \{e_1, e_2 \dots e_{p_1}\}, p_1 = n_1 + m_1 \quad (5.11)$$

Daraus folgt für die neu aufzubauende Matrix \underline{G} :

$$\begin{matrix} \underline{G}_{(0)} \\ (6p_0, 6p_0) \end{matrix} \Rightarrow \begin{matrix} \underline{G}_{(1)} \\ (6(p_0 + 1), 6(p_0 + 1)) \end{matrix} = \begin{matrix} \underline{G}_{(1)} \\ (6p_1, 6p_1) \end{matrix} \quad (5.12)$$

Insgesamt sind von *Altschuller* 18 Umformregeln aufgestellt worden. Da jede Umformregel eine gegebene Ausgangssituation in einen neuen Zustand transformiert, können die einzelnen Regeln als Abbildung

$$Z(F_{(u)}, S_{(u)}, \underline{G}_{(u)}) \Rightarrow F_{(u+1)}, S_{(u+1)}, \underline{G}_{(u+1)} \quad (5.13)$$

aufgefaßt werden. Die Menge aller 18 Umformregeln bildet eine Abbildungsschar, so daß der Index

$$f \in N^{<19} \quad (5.14)$$

eingeführt wird. Darüber hinaus müssen für die explizite Umformung eines *WePol*-Systems die konkreten Elemente vorgegeben werden, die hinzugefügt beziehungsweise entfernt werden müssen. Bei Einführung des Feldes $n + 1$ und Entfernung des Stoffes $m - 2$ unter Anwendung der Umformregel f bei der Ausgangssituation der Umformstufe u entsteht so der Ausdruck

$$Z_f(F_{(u)}, S_{(u)}, \underline{G}_{(u)})_{(\cup\{f_{n+1}\}, \setminus\{s_{m-2}\})} \Rightarrow F_{(u+1)}, S_{(u+1)}, \underline{G}_{(u+1)}. \quad (5.15)$$

Die Reihenfolge, nach der die Auswahl der Umformschritte erfolgt, wird vom Nutzer des Gesamtsystems vorgegeben. Hierbei werden üblicherweise zuerst die komplexeren und danach die detaillierteren Schritte genutzt. Komplexere Umformschritte sind im hohen Maße systemverändernd, da sie Ausgangssysteme in mehrere *WePol*-Systeme aufteilen, die ihrerseits weiter verändert werden. Dieses bedeutet häufig die Aufteilung eines Ober-systems in mehrere Untersysteme. Detailliertere Schritte dienen dagegen der Veränderung von *WePol*-Systemen zu idealen Systemen.

Neben dem oben gezeigten Lösungsweg kann auch eine graphentheoretische Formulierung gewählt werden. Ebenso ist ein gesondertes Expertensystem zur Lösung der *WePol*-Systeme einsetzbar.

Gegen die Nutzung einer graphentheoretischen Formulierung spricht die schlechtere Integrierbarkeit von vagem Wissen, die zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen soll.

Bei der Integration der Umformregeln in ein Expertensystem ergeben sich folgende Probleme. Zum einem stellt die Lösung von *WePol*-Systemen ein diagnostisches Ausgangsproblem dar. Dieses bedeutet, daß ein rückwärtsverknüpftes Expertensystem mit Tiefsuche erstellt werden muß. Zum anderem ist die größte Stärke der Expertensysteme, die gute Möglichkeit zur Erweiterung der Regelbasis (der Nutzen), bei der Umformung von *WePol*-Systemen nicht erforderlich, da die Menge der Umformregeln in sich geschlossen ist. Dagegen ist für den Aufbau der Wissensbasis ein höherer Aufwand als bei dem mathematischen Ansatz erforderlich.

Der mathematische Ansatz wurde aufgrund der Betrachtung bezüglich des Aufwand-Nutzen-Gesichtspunktes den anderen beiden Alternativen vorgezogen.

Kapitel 6

Aufbau des Programms

An die zu erstellende Software wurden folgende Anforderungen gestellt:

- einfache Handhabung,
- Nutzung einer bekannten Anwendungsumgebung,
- möglichst großer Verbreitungsgrad für die Anwendungsumgebung und
- Einsatz einer preiswerten Hardwareplattform.

Um der Anforderung nach einfacher Handhabbarkeit gerecht zu werden, wurde eine graphische Bedienoberfläche gewählt. Diese erleichtert durch den hohen Wiedererkennungswert, dem sogenannten *look and feel*, die Einarbeitung in ein Programm.

Es sind im Bereich der graphischen Bedienoberflächen mehrere Systeme auf dem Markt erhältlich, die unter anderem bei *Strobel* aufgeführt werden (ergänzt nach [Str96]):

- GEM - TOS
- OSF/Motif - UNIX, VMS, DOS
- OpenLook - UNIX
- Microsoft - Windows
- SUN - Solaris
- Apple Macintosh - MacOS
- DEC-Windows - VMS

Obwohl aufgrund der graphischen Orientierung dieser Systeme bei allen eine Umsetzung im Rahmen des hier zugrunde liegenden Anforderungsprofils möglich wäre, wurde jedoch in Anbetracht des angestrebten großen Verbreitungsgrades auf die Produkte der Firma *MICROSOFT* zurückgegriffen.

Mit diesen Betriebssystemen werden rund 90% aller Personal Computer (PC) ausgerüstet, die ihrerseits wiederum die verbreitetste Hardwareplattform darstellen. Um eine ausreichende Leistungsfähigkeit zu gewährleisten, wurde ein 32-Bit Betriebssystem vorausgesetzt, so daß die Produkte

- WINDOWS 95/98,
- WINDOWS NT4.0 und
- WINDOWS 2000

eingesetzt werden können. Als Entwicklungssoftware kamen die Programmiersprachen Visual Basic und Visual C++ von *MICROSOFT* zum Einsatz. Empfehlenswerte Beschreibungen dieser Programmiersprachen sind zum Beispiel in [Bre97], [DK97], [GG96] und [SK94] zu finden.

Die beinahe uneingeschränkte Freiheit beim Entwerfen von graphisch orientierten Bedienoberflächen sollte bei einer Software, die für den industriellen Einsatz erstellt wird, nicht ausgeschöpft werden. Vielmehr erfolgt eine Beschränkung auf die Elemente, die durch die Richtlinien des GUI-Designs vorgegeben sind, um einen größeren Wiedererkennungswert zu erreichen und eine schnellere Einarbeitung zu gewährleisten. Auch wenn hier verschiedene Interpretationsweisen vorzufinden sind, stützen sich alle auf die gleichen Gestaltungsprinzipien. Eine gute Darstellung ist bei *Wessel* zu finden [Wes98].

Für die programmtechnische Realisierung des Projektes wurden zwei Programme benötigt. Das eine zum Aufbau der Wissensbasis, die sogenannte Wissensakquisitionskomponente, die nur vom Wissensingenieur genutzt wird (siehe 6.1), das andere für die Nutzung der Innovationsmethoden, die Anwendungsumgebung (siehe Kapitel 6.2). Der Zusammenhang zwischen diesen beiden Programmen wird in Abbildung 6.1 veranschaulicht.

Die Wissensakquisitionskomponente beinhaltet einen graphisch orientierten Editor für die Erstellung und Verwaltung des bereichsspezifischen Expertenwissens (Wissensakquisition). Ebenso können Informationen für die Inferenzmaschine abgelegt werden. Weitere Module zur Umformung und Validierung der Regelbasis sind integriert. Dieser Bereich wird in Kapitel 6.1 vorgestellt. Die Ausgabeschnittstelle ist in Form mehrerer ASCII-Textdateien realisiert, um einerseits eine Bearbeitung mit gewöhnlichen Editoren zu gewährleisten und andererseits eine einfache Übertragung auf andere Hard-, und Softwareplattformen zu ermöglichen.

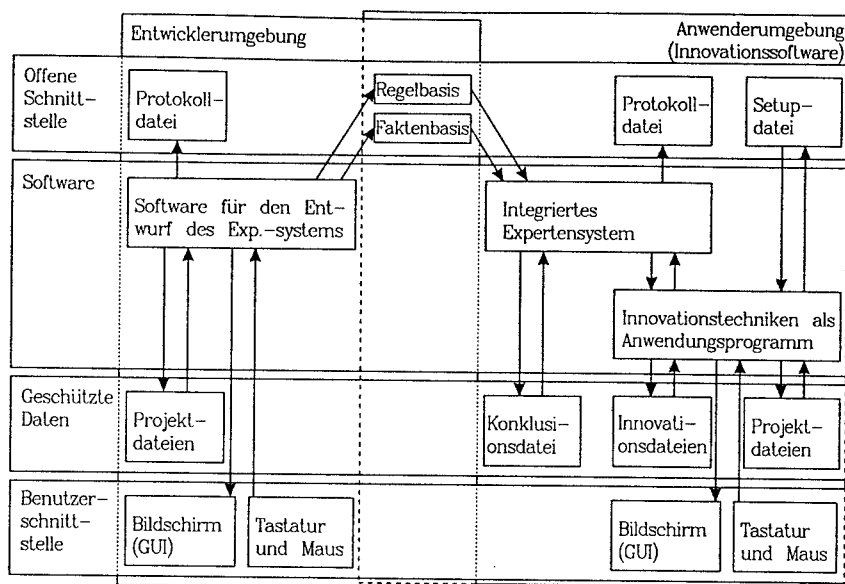


Abbildung 6.1: Struktureller Zusammenhang zwischen Software und Dateien

Auf der anderen Seite steht dem Nutzer das Programm für die Anwendung der Innovationsmethoden zur Verfügung. In diesem Programm sind die Oberflächen für die Nutzung der Methoden eingearbeitet, die schon in Kapitel 3 vorgestellt worden sind. In der letzten Fassung der Software sind die Methoden

- ARIS,
- WOIS,
- 61 Kreativitätstechniken und
- eine Patent-, Gebrauchsmuster- und Geschmacksmusterberatung

eingearbeitet. Für die weitere Unterstützung des Innovationsprozesses stehen Protokollierungswerkzeuge für die Kreativitätstechniken und der Zugang zu internationalen Patentdatenbanken mit Hilfe des Internets bereit. Außerdem wird der Nutzer bei der Umformung von WePol-Systemen unterstützt. Hierzu wird das zur Erfindungsaufgabe gehörende WePol-System interaktiv mit Hilfe der graphischen Bedienoberfläche eingegeben und dann nach den im Programm hinterlegten Umformregeln gelöst. Die hierfür verwendete mathematische Modellierung der WePol-Systeme und deren Umformregeln wurde in Kapitel 3.2.2 beschrieben. Ein Beispiel ist in Abbildung 6.5 dargestellt.

Die Einbindung weiterer Methoden ist aufgrund der Modularität des Gesamtsystems und der erstellten Software problemlos möglich.

Auf weitere Zusatzprogramme wie unter anderem einem Programm zur Visualisierung der Wissensbasis zur Laufzeit soll nicht weiter eingegangen werden. Es sei aber angemerkt, daß solche zusätzlichen Hilfsmittel die Arbeit bei dem Entwurf einer expertensystemorientierten Anwendung erheblich erleichtern.

6.1 Wissensakquisitionskomponente

Wie schon in Kapitel 5 begründet, ist es für den schnellen und übersichtlichen Aufbau einer Wissensbasis vorteilhaft, einen graphisch orientierter Ansatz für die Wissensakquisitionskomponente zu wählen.

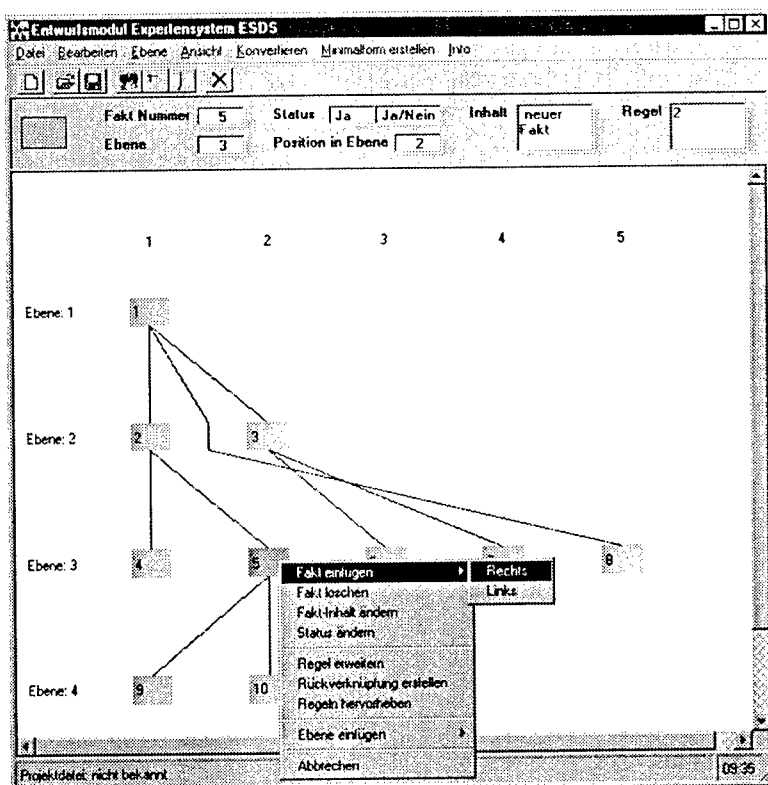


Abbildung 6.2: Bedienoberfläche zum Entwurf der Wissensbasis

Die graphische Entwicklungsumgebung erlaubt im Gegensatz zu dem Editieren von großen Textdateien eine bessere Übersicht und somit eine bessere Handhabbarkeit.

Das graphische Abbild eines kleinen Regelbaumes, der mit Unterstützung durch das selbstprogrammierte Programm *ESDS* aufgebaut wurde, ist in Abbildung 6.2 dargestellt. Der abgebildete Regelbaum ist rein theoretischer Natur und enthält keine nutzbaren Strukturen oder Inhalte.

Die Abbildung zeigt aber anschaulich die Nutzungsweise des Programms. Fakten können auf einfache Weise im Rahmen der Ebenenstruktur erstellt, verschoben oder gelöscht werden. Die Einstellung der Parameter eines Faktes erfolgt mit dem in Abbildung 6.3 gezeigten Fenster.

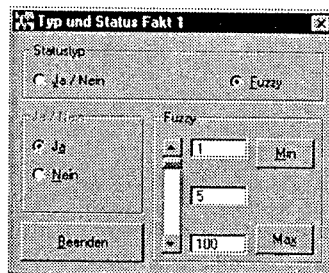


Abbildung 6.3: Bedienoberfläche für die Bearbeitung von Fakten

Die weiteren Daten für einen Fakt, wie der Fragetext und die Antwort, die bei Auslösung der Erklärungskomponente des Expertensystems erfolgt, werden in der Menüleiste eingegeben.

Die Beziehungen zu anderen Fakten werden durch Linien dargestellt. Die zugehörigen Regeln sind auf einfache Weise mit Hilfe des in Abbildung 6.4 gezeigten Fensters editierbar.

Um bei der Validierung und der Verifikation eine möglichst fehlerfreie Wissensbasis zur Verfügung zu haben, werden die Regeln nach ihrer Bearbeitung auf Konsistenz geprüft. Dies bedeutet, daß in einem ersten Schritt die Syntax der Regeln kontrolliert wird. In einem weiteren Schritt wird überprüft, ob alle eingeschlossenen Fakten auch tatsächlich existieren. Sollte nachträglich ein Fakt, der für die erstellten Regeln benötigt wird, gelöscht werden, wird er auch aus allen Regeln gelöscht, in denen er eingearbeitet worden war.

Auf diese Weise ist sichergestellt, daß das Expertensystem stabil läuft. Dagegen kann aber mit Hilfe der Software nicht vermieden werden, daß das System zu falschen Schlüssen kommt.

Weitere Module für die Auflösung und die Umwandlung der globalen Regeln in minimale Regeln (siehe Kapitel 4.1) ergänzen das Entwurfsmodul *ESDS*.

Vor der Speicherung der gewonnenen Ergebnisse werden die Daten in drei Bereiche aufgeteilt:

- **Faktenbasis**
Sie enthält Informationen, ob die einzelnen Fragen Entscheidungsfragen oder Fragen nach vagem Wissen sind. Außerdem wird hier die Positionierung innerhalb der Ebenenstruktur festgelegt.
- **Regelbasis**
In ihr sind die Regeln enthalten, mit denen das Expertensystem die Entscheidungen fällen kann.
- **Fakteninhalte**
Sie repräsentieren die Fragen, die dem Nutzer gestellt werden. Durch die Isolierung dieser Daten ist eine Übersetzung in Fremdsprachen einfacher möglich.

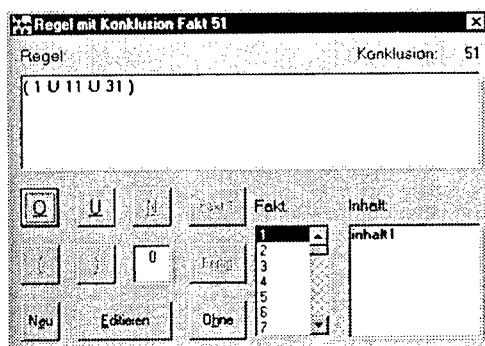


Abbildung 6.4: Bedienoberfläche für die Bearbeitung von Regeln

Bei dem Entwurf einer Wissensbasis oder deren weiterer Bearbeitung wird von dem Wissensingenieur somit immer ein mehrstufiges Modell durchlaufen. Dieses gliedert sich in die Schritte

1. graphischer Entwurf,
2. Überprüfung der Regelsyntax,
3. Bildung von minimalen Regeln und
4. Trennung des bereichsspezifischen Expertenwissens in Faktenbasis, Regelbasis und Fakteninhalte

auf.

Ein weiterer Vorteil der Auftrennung der Daten in die drei oben genannten Bereiche in Verbindung mit der Bildung von Minimalregeln besteht in der annähernden Verschlüsselung, die eine solche Vorgehensweise mit sich bringt. Für Dritte ist es nicht ohne weiteres möglich, aus den in den drei Dateien enthaltenen Informationen auf die Ausgangsdaten zu schließen.

6.2 Anwendungsumgebung

Den zweiten -vollkommen autarken- Teil der Software bildet das Innovationsprogramm für den Benutzer. Es arbeitet nach der in Kapitel 4 dargestellten Weise und ermöglicht ihm den Zugriff auf das Gesamtsystem.

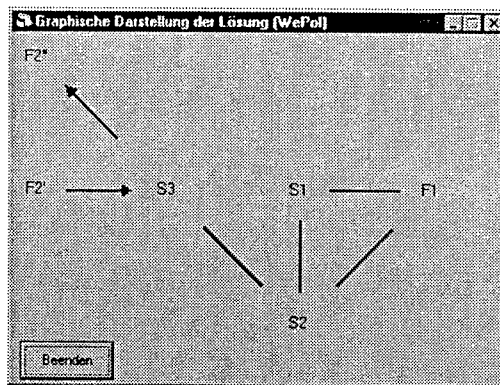


Abbildung 6.5: Darstellung eines *WePol*-Systems

Bei der Gestaltung dieser Komponente stand die Benutzerfreundlichkeit und die fehlerfreie Nutzung der einzelnen Elemente für die Innovationssitzungen im Vordergrund.

Die Benutzerkomponente ist als MDI-Anwendung (Multiple Document Interface)¹ aufgebaut. Jedes einzelne Element einer Methode ist als eigenes Fenster (Child Frame (Process))² programmiert und beliebig häufig ableitbar. Unter ableiten wird ein programmiertechnischer Vorgang verstanden, bei dem ein einmal erstelltes Fenster beliebig häufig parallel zueinander genutzt werden kann. Hierdurch stehen mehrere gleiche Fenster zur Verfügung, die aber unabhängig voneinander arbeiten und jeweils ihre eigene Variablenumgebung erzeugen. Somit können zum Beispiel parallel zwei Funktionsanalysen bei

¹Multiple Document Interface [eng] = Anwendungsoberfläche für mehrere Dokumente

²Child Frame (Process) [eng] = Von einem übergeordneten Fenster (übergeordneten Prozeß) initiiertes Fenster (initiiertes Prozeß)

WOIS bearbeitet werden, wenn das Ausgangssystem und das Obersystem gleichzeitig betrachtet werden.

Die insgesamt über 150 einzelnen Fenster (Oberflächen) sind untereinander ebenfalls hierarchisch in zwei Ebenen gegliedert. Auf der oberen Ebene stehen die einzelnen Fenster unverbunden und gleichberechtigt nebeneinander. Zu einigen dieser Fenster gehören zusätzlich Fenster der zweiten Ebene. Häufig teilen sich mehrere Fenster der ersten Ebene ein Fenster der zweiten Ebene. Beispielhaft sollen die

- technischen und physikalischen Kataloge,
- Legenden und
- Fehlermeldungen

erwähnt werden. Auch hier wird dieses Problem durch das Ableiten von Fenstern gelöst.

Methodenauswahl (Ideenfindung)

Gruppeneigenschaften

Teilnehmerzahl der Gruppe: 1 - 15 12

Handelt es sich um eine hierarchische Gruppe? Ja Nein

Ist das Klima in der Problemlösungsgruppe gut? Ja Nein

Hat die Gruppe Erfahrungen mit den Methoden der Ideenfindung? Ja Nein

Können an den Leiter der Problemlösungsgruppe besondere Anforderungen gestellt werden? Ja Nein

Zeitraumen

Welchen Zeiteinsatz in Minuten sehen Sie vor? 30 - 150 60

Nächstes Arbeitsblatt

Abbildung 6.6: Eingabemaske für vages Wissen für das Expertensystem

Die MDI-Eigenschaft ist demnach nicht genutzt worden, um mehrere Innovationsaufgaben gleichzeitig zu lösen, sondern um die größtmögliche Flexibilität für das Expertensystem zu gewährleisten. Zweifelsfrei wäre es möglich, darüber hinaus auch das Bearbeiten mehrerer Innovationsaufgaben gleichzeitig zu realisieren. Dieses würde aber einen erheblichen Mehraufwand für die Datenstruktur der fallspezifischen Wissensbasis bedeuten.

Explizit soll an dieser Stelle auf die Realisierung einiger Anforderungen eingegangen werden. Auf eine vollständige Darstellung aller Probleme, die zu lösen waren, um die in Kapitel 3 und 5 zusammengestellten Anforderungen an die Software erfüllen zu können, wird jedoch verzichtet.

Für den Verlauf der Sitzung mit dem im Hintergrund arbeitenden Expertensystem sind verschiedene Eingabeformen erarbeitet worden. Auf die Eingabe von vagem Wissen wurde schon eingegangen. An dieser Stelle soll lediglich durch Abbildung 6.6 die graphische Umsetzung gezeigt werden.

Entscheidungsfragen werden mit einem ähnlichen Formular dem Expertensystem beantwortet. Durch Abfragen innerhalb der einzelnen Fenster wird allerdings sichergestellt, daß keine unlogischen Eingaben getätigt werden können. So können in Abbildung 6.7 zum Beispiel nicht gleichzeitig die Checkboxes „Keine“ und „Schreibzeug“ ausgewählt werden.

Katalog (Ideenfindung)	
Hilfsmittel	Auf des Problems
<input type="checkbox"/> Keine	<input type="checkbox"/> Konstruktionsprobleme
<input checked="" type="checkbox"/> Schreibzeug	<input checked="" type="checkbox"/> Suchproblem
<input checked="" type="checkbox"/> Tafel	<input type="checkbox"/> Versuchsproblem
<input type="checkbox"/> Kataloge	<input type="checkbox"/> Problemlöse-Methoden
<input type="checkbox"/> Prospekte	Umfang des Problems
<input checked="" type="checkbox"/> Elektrische Hilfsmittel	<input checked="" type="checkbox"/> Komplex
<input checked="" type="checkbox"/> Pinnwand	<input type="checkbox"/> Strukturiert
<input type="checkbox"/> Flip-Charts	Fachliche Gruppenzusammensetzung
	<input type="checkbox"/> Homogen
	<input checked="" type="checkbox"/> Heterogen
<input type="button" value="Nächstes Arbeitsblatt"/>	

Abbildung 6.7: Eingabemaske für Entscheidungsfragen für das Expertensystem

Weitere Informationen fließen teilweise ohne die Beantwortung einer Frage in das Expertensystem ein. Sind beispielsweise in einem Fenster existentiell wichtige Punkte unbeantwortet, versucht das System mit Hilfe geeigneter Methoden eine Antwort zu finden. Hier können unter anderem die Kreativitätstechniken eingesetzt werden.

Kapitel 7

Beispielhafte Anwendung des Gesamtsystems

Das oben beschriebene Gesamtsystem sollte zur Überprüfung seiner Leistungsfähigkeit zur Bearbeitung einer konkreten Erfindungssituation verwendet werden. Um ein möglichst großes Spektrum an Elementen zu streifen, ist ein Beispiel aus dem Fachgebiet Maschinenbau gewählt worden.

Eine Innovation aus dem Maschinenbausektor nutzt im Gegensatz zu der Wahl eines Beispiels aus dem rein betriebswirtschaftlichen Bereich auch die widerspruchorientierten Methoden *WOIS* und *ARIS*. Darüber hinaus entstammt das Beispiel dem Bereich der Automobiltechnik, so daß es aufgrund der großen Bemühungen in diesem Gebiet aufwendig ist, eine wirkliche Neuerung zu erzielen.

Um einen Bezug zu der aktuellen Forschungsrichtung im Automobilbau zu gewährleisten und somit eine Innovation zu generieren, die sich mit den momentan geltenden Megatrends deckt, wurde ein Problem aus dem Themengebiet der Sicherheitstechnik ausgewählt. Hier wurden bekanntlich in letzter Zeit unter anderem Innovationen wie

- Airbag,
- Anti-Blockier-System (ABS),
- Gurtstraffer,
- Seitenaufprallschutz und
- aktive Fahrwerke (ESP)

eingeführt, um in Kraftfahrzeugen Personen noch effizienter zu schützen. Weitere Systeme sollen das Autofahren noch sicherer machen. Dieses ist auch die Aufgabe bei der angestrebten Innovation.

7.1 Beschreibung des Projektes

Bei Fahrten mit einem Personenkraftwagen, dessen Kofferraum teilweise beladen ist, kommt es je nach Fahrsituation zu einer Bewegung der im Kofferraum eingeladenen Gepäckstücke. Diese Bewegungen werden durch

- Beschleunigungen beim Anfahren,
- Verzögerungen beim Bremsen und bei Unfällen,
- Bodenwellen sowie
- Zentrifugalkräfte bei Kurvenfahrten

und deren Überlagerungen ausgelöst.

Durch die Bewegung der Gepäckstücke kommt es zu verschiedenen unerwünschten Folgewirkungen. Neben der Beschädigung durch Umfallen oder gegenseitiges Berühren der einzelnen Teile können auch sicherheitstechnisch kritische Situationen entstehen. Insbesondere die Verschiebung eines schweren und kleinen Gegenstandes an das hintere Ende des Kofferraums kann bei einem Zusammenstoß mit einem anderen Fahrzeug oder Hindernis dazu führen, daß er durch die Kräfte der Massenträgheit, die ihn bis zum Auftreffen auf den Rücksitz in bezug zum Kofferraum relativ beschleunigen, den Rücksitz durchschlägt und Personen verletzt.

Die oben dargestellte Gefahrensituation durch Ladegüter im Kofferraum bei Unfällen und deren Auswirkungen auf die Insassen ist bei zahlreichen Crashtests verschiedener Institutionen hinreichend nachgewiesen worden.

Mit Hilfe des neu geschaffenen Gesamtsystems sollte eine Lösung gefunden werden, die es weiterhin erlaubt, auch mit einem nur teilweise gefüllten Kofferraum zu fahren, aber gleichzeitig keine Sicherheitseinbußen in Kauf nehmen zu müssen. Außerdem muß die Innovation problemlos in Fahrzeuge montierbar sein und keine grundlegenden Veränderungen des Obersystems (des Automobils) erfordern.

Weiterhin durfte die Handhabung der Gepäckstücke im Kofferraum nicht verändert werden oder sie sollte zumindest nicht aufwendiger werden. Es wurde darüber hinaus angestrebt, keine Einschränkungen für die Qualität, Quantität oder Beschaffenheit der Gepäckstücke hinzunehmen.

Die Forderungen

- Steigerung des Insassenschutzes,

- Beibehaltung des Ladekomforts und
- einfache Integrierbarkeit in das Automobil

wurden somit als erster Entwurf der Innovationsziele für die spätere Kontrolle des erarbeiteten Endergebnisses formuliert. Durch diese Anforderungen ist allerdings noch kein ideales Endresultat (*IER*), wie es von *Altschuller* gefordert wird, formuliert worden.

7.2 Verlauf und Ergebnis des Projektes

Die Bearbeitung der oben geschilderte Aufgabe sollte in Anlehnung an den realen Industrieinsatz als Projekt durchgeführt werden.

Der gesamte Innovationsprozeß untergliedert sich in die drei Innovationsphasen:

- die Sammel- und Aufbereitungsphase,
- die Phase der Widerspruchsüberwindung und
- die Ausformulierungs- und Variationsphase.

Die anschließende Validierungsphase für die Wissensbasis des Expertensystems war nicht Teil des Projektes sondern wurde getrennt behandelt (siehe Kapitel 7.3).

An dem Projekt arbeiteten vier Ingenieure und ein Physiker. Die drei Sitzungen, die je eine der oben genannten Phasen beinhalteten, hatten jeweils eine Länge von rund einer Stunde. Nach jeder Sitzung ergab sich für die Ausarbeitung und Protokollierung ein Zeitaufwand von je zwei Stunden. Diese wurde von dem Projektleiter alleine durchgeführt. Insgesamt wurden letztendlich gut 20 Mannstunden für die Schaffung einer Neuerung aufgewendet. Dieses ist im Vergleich zu dem üblichen Vorgehen eine deutliche Steigerung des Wirkungsgrads.

Vorgegeben war dem Expertensystem zu Beginn lediglich die Information, daß es sich um ein abgegrenztes technisches Problem handelt. Alle anderen Informationen wurden während des weiteren Verlaufs eingebracht.

Auf dieser Grundlage aufbauend wurden in der Aufbereitungsphase zuerst die beiden Orientierungsfelder von *WOIS* genutzt. Sie werden zusammen als ein Element angesehen und nur im Verbund eingesetzt. Die für die Innovationsaufgabe zutreffenden Trends, die unter anderem ein Ergebnis dieser Orientierungsfelder sind, sind in Tabelle 7.1 aufgelistet.

Gesellschaftlicher Ursprung der Trends	Genutzte Trends
Gesellschaftlich-soziale Bedürfnis- und Bedarfsentwicklung	Komfortbedarf ↑ Sicherheitsbedürfnis ↑ Mobilitätsbedarf ↑ Selbstorganisationsbedarf ↑
Gesellschaftlich-soziale Wertentwicklung	Gesundheitsbewußtsein ↑ Gefährdungsbewußtsein ↑ Werterhaltungsbewußtsein ↑ Sicherheitsbewußtsein ↑
Gesellschaftlich-soziale Ressourcenentw.	-kein relevanter Trend-
Gesellschaftlich-technische Bedürfnis- und Bedarfsentwicklung	Raumausnutzung ↑ Raumstrukturmodularität ↑ Zeitdauer ↓ Zeitparallelnutzung ↑ Selbstorganisation ↑
Gesellschaftlich-technische Wertentwicklung	Systemeffektivität ↑ Systemsicherheit ↑ Funktionsselbsterfüllung ↑ Funktionsvereinfachung ↑ Funktionsintegration ↑ Funktionsselbstüberwachung ↑ Funktionssicherheit ↑ Funktionsaktivierung bisher passiver Elemente ↑ Strukturintegration ↑
Gesellschaftlich-technische Ressourcenentw.	-kein relevanter Trend-

Tabelle 7.1: Genutzte Megatrends nach *WOIS* in beiden Orientierungsfeldern (nach [Lin93])

Nach der folgenden Aufgabenbestimmung durch *ARIS* wurde eine Generationsbetrachtung des zu bearbeitenden Systems durchgeführt, welches zu den beiden Systemen *WOIS* und *ARIS* gehört.

Bei der Aufgabenbestimmung wurde festgelegt, daß weiterhin das Ausgangssystem (der Kofferraum mit Ladung) betrachtet werden soll, da der Übergang auf das Ober- beziehungsweise Untersystem oder deren Komplementäre aufgrund mangelnder Lösungsansätze, die durch die Projektgruppe erarbeitet wurden, entfiel. Durch die Betrachtung des Ober-systems wäre das ganze Automobil oder sogar der gesamte Straßenverkehr in den Blickpunkt der Innovationsaufgabe gerückt worden. Durch die Reduzierung auf das Untersystem wären nur einzelne Teile des Kofferraums modifizierbar gewesen.

Die Generationsbetrachtung ergab für die Innovationsaufgabe die unten aufgeführten Trends:

- Steigende Einfachheit und Anpassungsfähigkeit der Stoffe,

- steigende Einfachheit und Konstanz der Energie,
- steigender Automatisierungsgrad der Information,
- steigende Einfachheit der Struktur,
- steigende Permanenz der zeitlichen Wirkung und
- sinkende Einbeziehung der menschlichen Arbeit.

In der zweiten Phase, der Widerspruchsüberwindung, wurden für die Ermittlung und Überwindung des Entwicklungswiderspruches drei Ansätze nacheinander vom Expertensystem genutzt:

1. der Modellaufbau der Innovationsaufgabe, die Analyse der Innovationsaufgabe, die Widerspruchstabelle sowie die 40 innovativen Prinzipien *Altschullers* [Her98],
2. die Sammlung konstruktiv-paradoxer Forderungen nach *WOIS* [Lin93] und
3. die *WePol*-Analyse.

Bei dem Modellaufbau für das Projekt wurden die beiden vorhandenen Stoffe (der Kofferraum als S_1 und die Ladung als Stoff S_2) eingeführt. Obwohl die Ladung aus mehreren Teilen bestehen kann, wird sie als ein Stoff betrachtet.

Da die Ladung aufgrund ihrer möglichen Mannigfaltigkeit als Teil der Umwelt angesehen werden kann und somit als schwer veränderbar einzustufen ist, ergab sich als zu veränderndes Element der Kofferraum. Auch wenn für bestimmte, genormte Ladungen eine Selbstfixierung möglich wäre, ist sie insbesondere im Konsumgüterbereich nicht einfach einführbar.

Als zu verbessernde Kriterien wurde die Größe „Haltbarkeit eines bewegten Objektes“ [Her98] (der Ladung) ausgewählt, da dieses der oben ausgeführten Aufgabenstellung entspricht.

Bei der Verbesserung dieses Parameters sollen sich die Parameter Form (des bewegten Objektes) und die Produktivität nicht verschlechtern. Unter Produktivität wird hier der Arbeitsaufwand bei dem Be- und Entladen des Automobils verstanden. Dieses ergab sich aus den betrachteten Megatrends. Die Senkung der Produktivität ist bei den bisher üblichen Sicherungsmitteln für Ladung (Gurte, Netze und Spannbänder) gegeben. Hier muß der Nutzer selber die Sicherungsmittel per Hand anbringen. Es läßt sich so als

technisch - technologischer¹ Entwicklungswiderspruch nach *Linde* [Lin93] die sinkende Produktivität bei Steigerung der Haltbarkeit des bewegten Objektes formulieren.

In der Widerspruchstabelle in der neuesten Fassung nach *Herb* ergaben sich die innovativen Prinzipien [Her98] (siehe auch Tabelle 3.3):

- 14, 26, 28 und 25 für den Parameter Form des bewegten Objektes und
- 35, 17, 14 und 19 für den Parameter Produktivität.

Für die weitere Lösung des Problems wurde das innovative Prinzip 14 betrachtet, da es einerseits für beide Parameter eingesetzt werden kann und andererseits bei dem Parameter des bewegten Objektes die stärkste Ausprägung besitzt. Dieses wird durch die Tatsache widerspiegelt, daß es als erstes Prinzip in der Reihenfolge aufgeführt ist. Das innovative Prinzip 14 wird in der dritten Phase ausformuliert.

Im Rahmen der widerspruchorientierten Innovationsstrategie wurde durch das Expertensystem lediglich eine Auswahl aus den konstruktiv-paradoxen Forderungen erwartet. Das ausgewählte Prinzip des „vorher untergelegten Kissens“ aus *WOIS* [Lin93] wurde in Phase drei weiter betrachtet.

Der letzte Ansatz zur Überwindung des Entwicklungswiderspruches stellte die *WePol*-Analyse dar. Die schon oben erwähnte Einteilung in die beiden Stoffe S_1 und S_2 wurde durch Einführung eines Feldes erweitert. Dieses kann als die wirkende Kraft beschrieben werden, die aufgrund der Massenträgheit des Stoffes S_2 und der daraus resultierenden Relativbewegung zum Kofferraum beim Beschleunigen (abzüglich der übertragbaren Kraft durch das reibschlüssige Aufliegen der Last auf dem Kofferraumboden) entsteht. Diese Kraft soll im weiteren als „Scheinkraft“ bezeichnet werden. Während dieses Feld F_1 eine nicht änderbare Wirkung auf den Stoff S_2 besitzt, kommt es von S_2 zu einer unerwünschten Wirkung auf S_1 . Somit kann die Ausgangssituation wie in Abbildung 7.1 dargestellt werden.



Abbildung 7.1: *WePol*-Modell der Ausgangssituation

Obwohl das aufgestellte *WePol*-System aus zwei Stoffen und einem Feld besteht und somit ein minimales System darstellt, ist es aufgrund der unerwünschten Wirkung kein ideales System. Durch Einführung eines weiteren Stoffes S_3 und eines zusätzlichen Feldes F_2 nach

¹Der Begriff „technisch - technischer“ Widerspruch beschreibt den Zusammenhang nach Auffassung des Autors allerdings besser

der Umformung nach Typ 3 [Alt84] (siehe auch Abbildung 7.2) wurde in der dritten Phase eine Lösung erzielt. Der Einsatz des Umformtypes 3 wurde durch den mathematischen Ansatz (wie in Kapitel 5.4 dargestellt) ermittelt. Für die hier gegebene Konstellation (zwei Stoffe ein Feld und eine unerwünschte Wirkung) kann nur der Umformtyp 3 angewandt werden.

In der dritten und letzten Phase des Projektes stand die Formulierung einer oder mehrerer konkreter Realisierungsmöglichkeiten im Mittelpunkt. Dabei wurde das Projekt an der Stelle für beendet erklärt, in der durch eine weitere Verfeinerung des Lösungsansatzes die Innovationstätigkeit auf die Ebene der reinen Entwicklung abgesunken wäre.

Die in der zweiten Phase dreigeteilt ausgearbeiteten Widerspruchsansätze werden durch das Expertensystem in gleicher Reihenfolge zur Ausformulierung gebracht.

Die durch die Nutzung des innovativen Prinzips 14 einzuführende Krümmung der Oberflächen sieht eine Veränderung des Kofferraums vor.

Für die Lösung dieser stark eingegengten Aufgabenstellung mit Hilfe einer Kreativitätstechnik wurde von dem Expertensystem die Methode Attribute-Listing empfohlen. Auf die detaillierte Ausführung der erzielten Ergebnisse soll nicht weiter eingegangen werden.

Die Einführung eines derart gekrümmten Kofferraumbodens, der sicherstellt, daß die Ladung bei allen Beschleunigungen an der Rücklehne anliegen, ist einerseits möglich und löst das Problem der Aufgabenstellung sogar in Form eines *IER*. Andererseits würde diese Variante die Zweckmäßigkeit und das Ladevolumen stark reduzieren. Aus diesen Gründen wurde dieser Ansatz nicht weiter verfolgt und keine entwicklungstechnische Aufgabenformulierung erstellt.

Bei Anwendung der in *WOIS* eingebundenen Verfahren zur Optimierung vorhandener Lösungsansätze wurde die Möglichkeit zur Spannung von Gegenständen mit Hilfe pneumatischer Kräfte ermittelt. Hier stehen die Alternativen des Druckluft- und Saugluftspannens zur Verfügung.

Die sich hierdurch ergebende Lösung, nach dem Schließen des Kofferraums die Ladung mit Hilfe sich füllender Luftkissen zu fixieren, ist somit in Form einer Entwicklungsaufgabe formuliert und wird nicht weiter betrachtet.

Für die in Phase zwei eingeführte Umformung des *WePol*-Systems mußten in Phase drei noch das einzuführende Feld F_2 und der hinzuzufügende Stoff S_3 bestimmt werden (siehe Abbildung 7.2). Die hierfür einsetzbaren physikalischen Effekte wurden [Her98] entnommen.

Die so gewonnene Lösung ergab sich parallel zu dem oben dargestellten Ansatz von *WOIS*. Die Einführung eines Luftkissens oder mehrerer Luftkissen, die den Stoff S_3 repräsentieren,

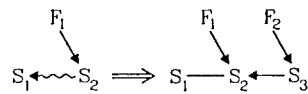


Abbildung 7.2: WePol-Umformung des Projektes

und die Ergänzung des Systems durch das Feld F_2 , das den Luftdruck darstellt, überführt das Ausgangssystem in zwei ideale *WePol*-Systeme. Durch die somit nicht mehr vorhandene Möglichkeit der Ladung, sich bei Beschleunigungen zu verschieben, wurde aus der unerwünschten Wirkung zwischen S_1 und S_2 eine Wirkung allgemeiner Art. Insgesamt entstehen somit zwei *WePol*-Systeme, die beide ideal sind und keine unerwünschten Wirkungen oder Wechselwirkungen enthalten.

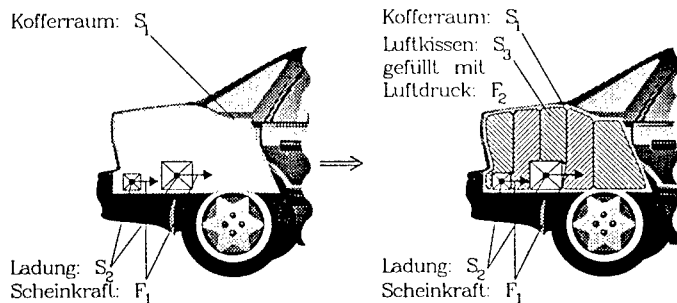


Abbildung 7.3: Ausgangslage und Lösung der Innovationsaufgabe

Eine Erweiterung des oben gezeigten *WePol*-Systems durch weitere Elemente wie dem Fahrzeug als weiteren Stoff oder die Antriebskraft des Motors als weiteres Feld ist möglich. Sie führt aber nicht zu einer besseren Lösung der Aufgabenstellung und verschlechtert die Übersichtlichkeit.

7.3 Erfahrungen und Rückschlüsse für das Gesamtsystem

Die in den drei Sitzungen erarbeiteten Lösungsansätze können insgesamt als funktionsfähige und erfolgversprechende Neuerungen gewertet werden, die die Funktionsfähigkeit des Gesamtsystems aufzeigen. Dieses gilt insbesondere unter der Berücksichtigung, daß es sich um einen ersten Entwurf für das Gesamtsystem handelt. Es wurde in einem:

- überschaubaren Zeitrahmen eine
- funktionsfähige Lösung mit

- Hilfe der Überwindung eines Widerspruches erarbeitet.

Diese drei Kriterien können für die Bewertung der Qualität der Lösung aber nicht für die Betrachtung der Wirksamkeit im Sinne eines Leistungsbegriffes herangezogen werden.

Da Innovationssituationen niemals wiederholbar sind, kann kein direkter Vergleich zwischen zwei Gesamtsystemen oder Methoden erfolgen. Eine Gruppe kann nicht die gleiche Erfindungsaufgabe mit zwei verschiedenen Systemen nacheinander lösen, da der Ausgang und das Ergebnis der ersten Sitzung die zweite Sitzung beeinflusst. Ebenfalls kann keine Qualitätskontrolle für zwei Gesamtsysteme mit Hilfe zweier Gruppen erreicht werden, da hierdurch das unterschiedliche kreative Potential der Gruppen einen zu hohen Einfluß auf das erzielte Ergebnis hätte.

Abschließend sind nach dem ersten beispielhaften Einsatz aus dem Verlauf der Sitzungen Erkenntnisse gewinnbar, die sich einerseits auf den Bereich der Wissensbasen beziehen und andererseits auf die Art und Weise der Implementierung der Innovationstechniken in ein Programm.

Das Expertensystem neigte aufgrund des Aufbaus der Wissensbasen zu einem ungewollt parallelen Ablauf in der Widerspruchsphase und somit auch in der Ausformulierungsphase. Dieses läßt sich teilweise auf die Nutzung der Breitensuche in der Inferenzmaschine zurückführen. Eine geeignete Umformulierung der Regeln würde dieses vermeiden. Hierzu müßten aber erst weitere Regeln eingeführt werden, die zwischen den einzelnen Widerspruchsansätzen differenzieren können.

Solch komplexe Regeln sind zwar in einem Rapid-Prototyping-Entwurf von Beginn an abbildbar, aber die tatsächliche Erfahrung, wann welcher Ansatz am besten angewendet werden sollte, ergibt sich erst nach ausreichender Nutzung des Gesamtsystems.

Es sei angemerkt, daß die Wissensbasen nicht fortlaufend geändert werden sollten. Hierdurch erschwert sich die Verifikation erheblich. Insbesondere die Überprüfung der Wissensbasen hinsichtlich ihrer Konsistenz würde dadurch einen sehr hohen Zeitaufwand in Anspruch nehmen. Seltener aber grundlegendere Änderungen werden auch in vielen Veröffentlichungen empfohlen.

Weiterhin zeigt die erste Nutzung des Gesamtsystems, daß die Wahl des Rapid-Prototyping-Ansatzes für den Entwurf der Wissensbasen vorteilhaft war. Nur hierdurch standen im Gegensatz zur konzeptionellen Modellierung zu einem frühen Zeitpunkt überhaupt die Wissensbasen zur Verfügung, die letztendlich erst die Verifikation ermöglichten.

Bei der Implementierung der einzelnen Elemente in MDI-Childs sind viele Begriffe auf einem Niveau, das nur von Experten der Innovationstechniken verstanden werden kann. Dieses stellte sich als großer Nachteil bei der ersten Nutzung des Gesamtsystems heraus,

bei der auch unerfahrene Nutzer bezüglich der Innovationstechniken anwesend waren. Eine weitere Vereinfachung oder eine aktive Hilfe würde die Situation verbessern.

Aufgrund des geringen Bekanntheitsgrades der Innovationsmethoden und dem fehlenden Verständnis für die Zusammenhänge wirken einige Fragen und Arbeitsschritte auf unerfahrene Nutzer befremdlich. Dieses muß durch weitere, unterstützende und beratende Hilfsmittel vermieden werden, um die Motivation der Nutzer und somit die Wirksamkeit des Gesamtsystems zu gewährleisten.

Für den fortgeschrittenen Nutzer des Gesamtsystems wäre die direkte Manipulation des Ablaufes einer Innovationssitzung vorteilhaft. Hierbei wäre zu entscheiden, ob eine direkte Änderung der Wissensbasen durch den Nutzer erfolgen soll, was voraussetzen würde, daß der Nutzer gleichzeitig auch eine hohe fachliche Kompetenz in bezug auf Expertensysteme hat oder ob eine Veränderung des Ablaufes mit Hilfe von optionalen Einstellungen ermöglicht werden soll, wie es bei vielen großen Softwarepaketen üblich ist.

Kapitel 8

Zusammenfassung und Ausblick

In der vorliegenden Arbeit wurde ein neuartiger Ansatz zur Bildung eines integrierenden Gesamtsystems für die Innovationstechniken erarbeitet. Dieser soll eine Alternative zu den bis jetzt bestehenden Systemen darstellen, wie sie unter anderem von *Koller* erstellt worden sind.

In Kapitel 2 sind die für diesen Themenbereich notwendigen Begriffe eingeführt worden. Hierzu gehören neben den in den technischen Fachbereichen teilweise bekannten Begriffen aus dem Gebiet der künstlichen Intelligenz insbesondere die Fachtermini der Innovationsmethodik. Ebenfalls wurden die Softwarerealisierungen erwähnt.

Die verschiedenen Methoden, die in das Gesamtsystem integriert werden sollten, wurden in Kapitel 3 beschrieben. Hierbei wurde der Schwerpunkt auf die Varianten der Kreativitätstechniken und die widerspruchsorientierten Verfahren gelegt. Weitere Methoden wie die Bionik, die Konstruktionskataloge und die Patentrecherche wurden in Hinblick auf ihre spätere Integrierbarkeit behandelt.

Für die Bildung des Gesamtsystems mußte ein geeignetes Werkzeug gewählt werden, mit dessen Hilfe die einzelnen Methoden effizient und möglichst flexibel verbunden werden konnten. Hierbei kristallisierte sich der Einsatz eines Expertensystems heraus. Hierfür wurden die Randbedingungen wie Vorwärtsverknüpfung bei Breitensuche sowie der *modus ponens* bei der Schlußfolgerungsmethode und die Metaregel festgelegt.

In Kapitel 5 wird der eigentliche Ansatz für die Integration zu einem Gesamtsystem dargestellt. Dieser beruht auf der Aufteilung der verschiedenen Methoden in ihre einzelnen Elemente und die Betrachtung der Ein- und Ausgangsgrößen. Als Auswahlkriterien für die Kreativitätstechniken wurden die Randbedingungen der einzelnen Methoden gewählt.

Die Vielschichtigkeit des Gesamtsystems erforderte, wie in Kapitel 5 gezeigt, einen hierarchischen Aufbau mit mehreren Wissensbasen.

Das Gesamtsystem konnte aufgrund des eingebundenen Expertensystems nur in Form einer Software realisiert werden. Die prinzipiellen Schwierigkeiten und die Lösungswege dafür sind in Kapitel 6 aufgeführt. Hierbei wurde besonders die Eingabe der Größen für das Expertensystem sowie die beispielhafte Umsetzung einzelner Elemente betrachtet.

Für den Nachweis der Effizienz des Gesamtsystems in Kapitel 7 wurde eine projekthafte Innovationssituation genutzt. Eine Betrachtung der Leistungsfähigkeit ist aufgrund der fehlenden Definition dieses Begriffes im Innovationsbereich nicht möglich (siehe 7).

Um die Effizienz des Gesamtsystems zu überprüfen, sollte ein Sicherungssystem für Ladungen in dem Kofferraum eines Automobils geschaffen werden. Die erfolgreiche Lösung des Problems, die mit rund 20 Mannstunden in einem überschaubaren Zeitrahmen umgesetzt wurde, zeigte, daß der erste Rapid Prototyping Entwurf der Wissensbasis für das Gesamtsystem lauffähig war. Gleichzeitig wurden aber Erkenntnisse über ein mögliches Verbesserungspotential gewonnen.

Bei der Entwicklung des Gesamtsystems sind abschließend folgende Punkte besonders zu betonen:

- Bewertung der einzelnen Methoden für die Einsetzbarkeit im Rahmen eines softwareorientierten Systems
- Ermittlung der geeigneten Parameter für das Expertensystem sowie Anpassung an das gegebene Ausgangsproblem
- Entwurf und Aufbau der Wissensbasen
- Integration der Innovationsmethoden und des Expertensystems in eine Software

Die größte Schwierigkeit bestand hierbei im Entwurf der Wissensbasen und der Überprüfung der Lauffähigkeit. Dieses war insbesondere durch den Einsatz mehrerer hierarchisch angeordneter Wissensbasen ein aufwendig zu realisierender Ansatz.

Insgesamt kann festgestellt werden, daß das entwickelte Gesamtsystem in seinem ersten Entwurf funktionsfähig ist und im Rahmen des Innovationsprozesses brauchbare Ergebnisse erzielt. Weiterhin ist aufgrund der Protokollierung eine Qualitätskontrolle in diesem Bereich möglich. Der Innovationsprozeß ist aufgrund der im Rechner gespeicherten Daten stets nachvollziehbar und somit auch mit anderen Innovationsprozessen vergleichbar.

Verbesserungen, wie sie bei der Pflege von Expertensystemen üblich sind, müssen aber fortlaufend durchgeführt werden. Dazu gehört schwerpunktmäßig die Überarbeitung der Wissensbasen.

Für weiterführende Arbeiten sind verschiedene Wege möglich. Einerseits ist die Einbeziehung weiterer Methoden wie

- der Bionik,
- der Konstruktionslehre,
- der *FMEA* und
- anderer Varianten des methodischen Erfindens

möglich. Die Bionik, die noch nicht ausreichend, geschweige denn vollständig katalogisiert ist, sollte dabei als letztes angegangen werden. Eine Integration von weiteren Kreativitätstechniken ist auf einfache Weise möglich. Eine deutliche Steigerung der Effizienz des Gesamtsystems ist dadurch nicht zu erwarten, da die Kreativitätstechniken, die nicht in dem Gesamtsystem eingebunden sind, lediglich Variationen der bereits integrierten darstellen (siehe 3.1).

Weitere Einsätze in Unternehmen wie aber auch an akademischen Einrichtungen würden es ermöglichen, die Wissensbasen zu verbessern und somit neben der Steigerung der Güte der erzielten Ergebnisse auch den Wirkungsgrad bezüglich des Zeitaufwands der Innovationssitzungen zu steigern.

Als vorläufig abschließender Schritt sollten weitere Hilfsmittel zur Protokollierung und Qualitätskontrolle dem softwareorientierten Gesamtsystem hinzugefügt werden. Hierzu müßten Projektplanungselemente sowie Module zur Systembeschreibung der technischen Innovationsaufgabe (*IDEF0*, *IDEF1X*) integriert werden.

Literaturverzeichnis

- [ALT73] ALTSCHULLER G.S. *Erfinden -(k)ein Problem? Anleitung für Neuerer und Erfinder*, VEB Verlag Technik, Berlin, 1973.
- [ALT84] ALTSCHULLER G.S. *Erfinden. Wege zur Lösung technischer Probleme*, VEB Verlag Technik, Berlin, 1984.
- [AS84] ALTSCHULLER G.S. SELJUZKI A. *Flügel für Ikarus. Über die moderne Technik des Erfindens*, Verlag MIR und Urania Verlag, Moskau Leipzig, 1984.
- [BEC88] BECKER T. *Das frühzeitige Erkennen von Technologietrends: Patentanalyse, Bibliometrie, Technometrie*, (in: Technologie und Management), Heft 4, 1988.
- [BEN88] BENKARD G. *Patentgesetz, Gebrauchsmustergesetz*, Beck'sche Kurzkommentare, München, 1988.
- [BMBF96/1] BMB+F (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie) *Information als Rohstoff für Innovation*, Bonn, 1996.
- [BMBF96/2] BMB+F (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie) *Patente schützen Ideen - Ideen schützen Arbeit*, Bonn, 1996.
- [BMBF96/3] BMB+F (Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft, Forschung und Technologie) *Delphi-Bericht 1995 zur Entwicklung von Wissenschaft und Technik*, Bonn, 1996.
- [BRE97] BREMES D. *Visuelle Windows-Programmierung lernen und verstehen*, Verlag C. H. Beck, München, 1997.
- [BRO93] BROCKHOFF K. *Forschung und Entwicklung*, (in: Vahlens Kompendium der Betriebswirtschaftslehre), Verlag Franz Vahlen, München, 1993.
- [BS89] BRONSTEIN I. N., SEMENDJAJEW *Taschenbuch der Mathematik*, Verlag Harri Deutsch, Thun und Frankfurt/Main, 1989.

- [CSI97] CSIKSZENTMIHALYI M. *Kreativität: wie Sie das Unmögliche schaffen und Ihre Grenzen überwinden*, Klett-Cotta-Verlag, Stuttgart, 1997.
- [DK97] DOBERENZ W. KOWALSKI T. *Visual Basic 5*, Carl Hanser Verlag, München Wien, 1997.
- [DL95] DREWS R. LINDE H. *Innovationen gezielt provozieren mit WOIS - Erfahrungen aus der Automobilindustrie*, (in: Konstruktion) Springer-Verlag, Ausgabe 47, 1995.
- [FRE94] FREITAG D. *Dem Wachstum der Bäume nachempfunden - biologische Vorbilder zur Konturoptimierung technischer Bauteile*, (in: Zeitschrift der UGH Kassel), Kassel, prisma48, 1993.
- [GAP95] GAPPA U. *Graphische Wissensakquisitionssysteme und ihre Generierung*, Dissertation Universität Karlsruhe, Sankt Augustin, 1995.
- [GD96] GESCHKA H. DAHLEM S. *Kreativitätstechniken und Unternehmenserfolg*, (in: Technologie und Management), Jg 1996, Heft 3, Frankfurt, 1996.
- [GG96] GUREWICH N. GUREWICH O. *Visual Basic 5*, Software-Verlag, München, 1997.
- [GES86] GESCHKA H. *Kreativitätstechniken* (in: Staidt E., Das Management von Innovationen), FAZ, Frankfurt, 1986.
- [GJK97] GRABOWSKI H. JÄCKLE M. KURZ A. *Ideenfindung in der Konstruktion*, (in: Konstruktion) Springer Verlag, Ausgabe 48, 1997.
- [GRD92] GESCHKA H. REIBNITZ U. DAHLEM S. *Vademecum der Ideenfindung. Eine Anleitung zum Arbeiten mit Methoden der Ideenfindung*, Battelle-Institut e.V., Frankfurt, 1992.
- [HEN98] VON HENTIG H. *Kreativität - Hohe Erwartungen an einen schwachen Begriff*, Carl Hanser Verlag, München Wien, 1998.
- [HIL93] HILL B. *Bionik - notwendiges Element im Konstruktionsprozeß*, (in: Konstruktion 45) Springer Verlag, Düsseldorf, 1993.
- [HH90] HERDEN W. HEIN H.-W. *Kurzlexikon Wissensbasierten Systeme*, Oldenbourg Verlag, München, 1990.
- [HK89] HARMON P. KING D. *Expertensystem in der Praxis*, Oldenbourg Verlag, München, 1989.
- [HS78] HANS K. SCHÖMBS W. *Ideen entwickeln Probleme lösen Maßnahmen vorbereiten*, München, 1978.

-
- [HW96] HIGGINS J.M. WIESE G.G. *Innovationsmanagement - Kreativitätstechniken für den unternehmerischen Erfolg*, Springer-Verlag, Berlin, 1996.
- [HWL83] HAYES-ROTH F. WATERMAN D. LENAT D. *Building Expert Systems*, Addison-Wesley, Massachusetts, 1983.
- [IDW97] INSTITUT DER DEUTSCHEN WIRTSCHAFT KÖLN *Innovationsstimulierung*, Köln, 1997.
- [JAC87] JACKSON P. *Expertensysteme*, Addison-Wesley, Bonn, 1987.
- [JOH85] JOHANSSON B. *Kreativität und Marketing*, Peter Lang Verlag, Bern, 1985.
- [KF94] KINZINGER R. FUNK W. *CAD-Expertensystem-Kopplung - ein Schritt auf dem Weg zum wissensbasierten Konstruktionssystem*, (in: Konstruktion) Springer-Verlag, Ausgabe 46, 1994.
- [KIN93] KINZINGER R. *Eine CAD-Expertensystem-Kopplung - dargestellt am Beispiel der Lösung von Bewegungsaufgaben*, Dissertation Universität der Bundeswehr Hamburg, 1993.
- [KOL85] KOLLER R. *Konstruktionslehre für den Maschinenbau: Grundlagen des methodischen Erfindens*, Springer-Verlag, Berlin, 1985.
- [KOL97] KOLLER R. *Wege zur Innovation technischer Produkte*, (in: Konstruktion) Springer-Verlag, Ausgabe 48, 1997.
- [KL90] KARBACH W. LINSTER M. *Wissensakquisition für Expertensysteme*, Carl Hanser Verlag, München, 1990.
- [KLI70] KLIX F. *Kybernetische Analysen geistiger Prozesse*, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, 1970.
- [LIN93] LINDE H. *Erfolgreich erfinden. Widerspruchsorientierte Innovationsstrategie für Entwickler und Konstrukteure*, Hoppstedt Technik Tabellen, Darmstadt, 1993.
- [LMN94] LINDE H. MOHR K.-H. NEUMANN U. *Widerspruchsorientierte Innovationsstrategie (WOIS) - ein Beitrag zur methodischen Produktentwicklung*, (in: Konstruktion) Springer-Verlag, Ausgabe 46, 1994.
- [MIL97] MILLER F. *Innovationsstark durch Transfer der Köpfe*, (in: VDI-Nachrichten), Ausgabe 15, 1997.
- [MP96] MÖHRLE M. PANNENBÄCKER T. *Erfinden per Methodik. Ein neuer Weg zur Stärkung der Innovationsfähigkeit*, (in: Technologie und Management), Heft 3, 1996.

-
- [NAC98] NACHTIGALL W. *Bionik - Grundlagen und Beispiele für Ingenieure und Naturwissenschaftler*, Springer-Verlag, Berlin, 1998.
- [NAU96] NAUCK D. *Neuronale Netze und Fuzzy-Systeme: Grundlagen des Konnektionismus, neuronaler Fuzzy-Systeme und der Kopplung mit wissensbasierten Methoden*, Vieweg Verlag, Braunschweig, 1996.
- [NEB89] NEBENDAHL D. *Expertensysteme*, Teil 2, Siemens AG, Berlin, 1989.
- [OBE99] OBERNIK H. *Inventionshandbuch*, Eigenverlag, Berlin, 1999.
- [PAH99] PAHL G. *Denk- und Handlungsweisen beim Konstruieren* (in: Konstruktion), Heft 6, 1999.
- [PB93] PAHL G. BEITZ W. *Konstruktionslehre: Methoden und Anwendung*, Springer-Verlag, Berlin, 1993.
- [PUP87] PUPPE F. *Diagnostisches Problemlösen mit Expertensystemen*, Springer Verlag, Berlin, 1987.
- [REC73] RECHENBERG I. *Bionik, Evolution und Optimierung* (in: Naturwissenschaftliche Rundschau), Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart, Heft 11, 1973.
- [ROD84] RODENACKER W. G. *Methodisches Konstruieren: Grundlagen, Methodik, praktische Beispiele*, Springer-Verlag, Berlin, 1984.
- [ROT93] ROTH K. *Konstruieren mit Konstruktionskatalogen*, Band I, Springer-Verlag, Berlin, 1993.
- [ROT94] ROTH K. *Konstruieren mit Konstruktionskatalogen*, Konstruktionskataloge, Band II, Springer-Verlag, Berlin, 1994.
- [RUD98] RUDE S. *Wissenbasiertes Konstruieren*, Shaker Verlag, Aachen, 1998.
- [RT93] RINDFLEISCH H.-J. THIEL R. *Entwicklung, Konzept und Ergebnisse der Erfinderschulung* Deutsche Aktionsgemeinschaft Bildung Erfindung Innovation, Berlin, 1993.
- [SAV88] SAVORY S.E. *Grundlagen von Expertensystemen*, Oldenbourg Verlag, München, 1988.
- [SK94] SCHADER M. KUKLINS S. *Programmieren in C++ - eine Einführung in den Sprachstandard*, Springer-Verlag, Berlin, 1994.

-
- [SCH77] SCHLICKSUPP H. *Kreative Ideenfindung in der Unternehmung*, De Gruyter, Berlin, 1977.
- [SCH80] SCHLICKSUPP H. *Methoden zur Ideenfindung*, Jünger Verlag, Offenbach Frankfurt, 1980.
- [SCH85] SCHLICKSUPP H. *Innovation, Kreativität & Ideenfindung*, Vogel-Verlag, Würzburg, 1985.
- [STR96] STROBEL H. *Präventive Zuverlässigkeitsanalyse von mechanischen Systemen im Frühstadium von Entwicklung und Konstruktion*, Dissertation Universität der Bundeswehr Hamburg, 1996.
- [VDI2221] VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE (HRSG.) *Methodik zum Entwickeln und Konstruieren technischer Systeme und Produkte*, VDI, Berlin, 1993.
- [WAG74] WAGNER A. P. *Der Schlüssel zum erfolgreichen Produkt*, Management Script Band 7, Wiener Verlag, Wien, 1974.
- [WES98] WESSEL I. *GUI-Design, Richtlinien zur Gestaltung ergonomischer Windows-Applikationen*, Carl Hanser Verlag, München Wien, 1998.
- [WIL90] WILLAN U. *Integration von modellbezogener und wissensbasierter Diagnose am Beispiel eines Turboflugtriebwerkes*, Dissertation Universität der Bundeswehr Hamburg, 1990.
- [ZOB87] ZOBEL D. *Erfinderfibel, Systematisches Erfinden für Praktiker*, VEB Verlag, Berlin, 1987.
- [ZOB91] ZOBEL D. *Erfinder-Praxis, Ideenvielfalt durch systematisches Erfinden*, VEB Verlag, Berlin, 1991.

Lebenslauf

Name: Matthias Reuter
Geburtsdatum: 11. August 1968
Geburtsort: Hagen in Westfalen
Eltern: Prof. Dr.-Ing. Egon Reuter
Karin Reuter, geb. Fleischmann
Familienstand: Ledig

Schulbildung:
1974-1978 Karl-Ernst Osthaus Grundschule, Hagen
1978-1988 Humanistisches Albrecht Dürer Gymnasium, Hagen
Abschluß: Abitur

Praktika:
1987 Deutsche Bank AG, Filiale Wuppertal, Wuppertal
1989 Bundeswehr, Stab TechGrp JaboG 43, Oldenburg
1990 Siemens AG, Werk für private Kommunikationssysteme, Witten
1991 Hoesch AG, Federnwerk, Hagen-Hohenlimburg

Studium:
1989-1993 Wirtschaftsingenieurwesen mit Vertiefungsrichtung Fertigungstechnik an der Universität der Bundeswehr Hamburg
Abschluß: Diplom-Wirtschaftsingenieur

Berufstätigkeit:
1988-1989 Offizierausbildung der Luftwaffe
1993-1994 Einsatz in der Radarführungskompanie 111 Aurich / Ostfriesland als Emergency Action Officer (EAO)
1994-2000 Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Konstruktions- und Fertigungstechnik, Laboratorium Maschinenelemente und Förderwesen an der Universität der Bundeswehr Hamburg unter Leitung von Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. R. Bruns
ab 2000 Leiter des Center of Competence Mobile Business bei der Debis Internet Business Solution GmbH (debis-ibs), Hamburg